

Resum

El projecte descrit en aquest document es proposa introduir de manera senzilla i directa una potencial millora en els sistemes d'obtenció d'energia fotovoltaica, situant els habituals generadors, els panells solars, en una estructura tèxtil. S'analitza la tecnologia i posteriorment s'estudia la seva eventual viabilitat per a un possible client, per tal de comprovar si, efectivament, aquesta tecnologia aporta una reducció substancial en la despesa elèctrica del seu usuari.

Per tal d'introduir la tecnologia es detalla el funcionament dels sistemes d'obtenció d'energia solar i es presenten projectes i productes que s'estan treballant actualment en aquest camp. Seguidament, es localitza a un potencial client i es realitza un estudi de producció, autoconsum i estalvi per tal de determinar si donar una oportunitat a aquesta nova disposició de generadors fotovoltaics seria interessant des d'un punt de vista econòmic, ambiental i social.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	2
1. PREFACI	7
1.1. Origen del projecte	7
1.2. Motivació	7
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del projecte	11
2.2. Abast del projecte	11
3. INTRODUCCIÓ A LES TELES FOTOVOLTAIQUES	12
3.1. L'energia solar fotovoltaica	12
3.1.1. Introducció als sistemes fotovoltaics	13
3.1.2. Cèl·lules fotovoltaiques	16
3.1.3. L'efecte fotoelèctric	16
3.1.4. Paràmetres de les cèl·lules fotovoltaiques	17
3.1.5. Mòdul fotovoltaic	23
3.1.6. Tipologies de sistemes fotovoltaics	24
3.1.7. Elements complementaris	24
3.2. Les teles fotovoltaiques	27
3.2.1. Principals desenvolupadors	28
3.2.2. Avantatges i inconvenients de la tecnologia	32
3.2.3. Model seleccionat per a realitzar l'estudi	33
3.2.4. Fabricació d'una tela fotovoltaica	33
4. CAS PRÀCTIC: APLICACIÓ DE TELES FOTOVOLTAIQUES	37
4.1. Objecte	37
4.2. Emplaçament	37
4.3. Criteris per al dimensionament de la instal·lació	39
4.4. Descripció de la instal·lació	39
4.4.1. Estructura	39
4.4.2. Mòduls fotovoltaics	41
4.4.3. Elements complementaris	43
4.5. Estudi de la producció de la instal·lació	43
4.5.1. Consum	44
4.5.2. Producció	45

4.5.3. Càlcul de l'autoconsum.....	47
4.5.4. Estalvi generat	49
4.6. Normativa	50
4.7. Pressupost	51
4.7.1. Costos instal·lació.....	51
4.7.2. Costos associats.....	52
4.8. Estudi econòmic.....	54
5. IMPACTE DE LA TECNOLOGIA	60
5.1. Econòmic.....	60
5.2. Ambiental	60
5.3. Social.....	61
CONCLUSIONS	63
BIBLIOGRAFIA	64
Referències bibliogràfiques	64
Bibliografia complementària	65

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

El projecte present va néixer de l'associació de dues idees: per una banda, la notícia que diversos investigadors i empreses arreu del món estan dissenyant i perfeccionant tecnologies relacionades amb la creació d'un teixit capaç d'obtenir energia fotovoltaica; per altra banda, l'observació del gran número de teixits que estan exposats al sol, sobretot en zones costaneres. L'autor va voler valorar doncs, si la introducció d'un producte tèxtil amb capacitat de generació fotovoltaica és una idea amb futur o si, per contra, encara és necessari portar a terme més investigacions sobre aquest camp.

1.2. Motivació

L'autor del treball ha tingut sempre una gran simpatia envers les tecnologies renovables, ja que opina que formen part del futur de la generació d'energia elèctrica. Així doncs, i tenint en compte que viu a Catalunya, una zona amb un impacte solar força intens, es va decantar per a analitzar una nova manera d'ampliar el número de superfícies capaces d'obtenir energia solar fotovoltaica.

Tot i així, l'autor va tenir en compte que per molt atractiva que pugui semblar una idea sobre el paper, s'ha de portar a la pràctica i comprovar si els resultats coincideixen amb el potencial que, a priori, se li atribueix a aquesta nova tecnologia.

2. Introducció

Des del principi de la humanitat, l'energia ha jugat un paper crucial pel desenvolupament dels pobles. Avui, a començaments del segle XXI, davant els nous reptes energètics i el constant augment de la demanda, la ciència i la tecnologia estan contribuint d'una forma molt significativa al canvi que apareix a les societats més avançades, com a resposta a la necessitat de minimitzar les constants agressions mediambientals que comporta la generació energètica tradicional.

La preocupació pel deteriorament del planeta, fonamentada en la desaparició d'ecosistemes, la contaminació dels medis i la presència, cada cop més notable, d'un canvi climàtic, han ajudat a conscienciar la societat i els governs que un canvi en el model energètic actual és un pas absolutament necessari si volem avançar cap a un futur sostenible.

Estem vivint, sens dubte, una època de gran expansió de les energies renovables per tot el món. Més concretament a Europa, amb algunes excepcions, la majoria de països han arribat a acords i s'han establert objectius cada vegada més ambiciosos pel que fa a la busca d'energies netes i a la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Els avantatges dels que gaudeix aquesta forma d'obtenció d'energia són innegables. La radiació solar que arriba a la superfície terrestre és de 122 PW de potència; quasi 10.000 vegades el consum total d'energia elèctrica a la terra durant l'any 2010. Aquesta abundància energètica fa preveure que en un futur esdevindrà la font principal d'energia primària utilitzada per la humanitat. A més a més la generació d'electricitat fotovoltaica és l'energia renovable amb una major densitat d'energia, amb una mitjana de 170 W/m². [1]

Tot i la contaminació produïda en la fabricació dels panells solars, la producció d'energia no produeix gasos contaminants. Així mateix, al final del cicle de vida dels panells se'n pot fer una gestió dels residus i actualment es troben en desenvolupament tecnologies de reciclatge dels materials, així com polítiques que incentiven el reciclatge per part dels fabricants d'aquesta tecnologia.

Les instal·lacions fotovoltaïques poden arribar a tenir una vida útil de fins a 100 anys. A més un cop realitzada la instal·lació tenen un costos operatius i de manteniment molt baixos comparats amb altres tecnologies de generació d'electricitat.

Tot i emprar una font d'energia renovable la producció d'electricitat mitjançant plaques fotovoltaïques no està exempta d'impactes ambientals. Podem diferenciar els impactes deguts a la producció de les plaques (amb l'ús de minerals i productes químics que poden

ser contaminants), els directes en el seu ús (per exemple l'ús del sòl) i en el seu reciclatge al final de la seva vida útil.

Els principals impactes que es poden considerar, per la seva naturalesa són; químics, abocaments de sòlids, líquids i gasos; físics, tèrmics, climàtics, acústics, visuals; biològics, impactes sobre l'ecosistema i la salut humana; i l'ús massiu del terreny i de les matèries primeres. Els materials que s'utilitzen o que s'han proposat per la fabricació de cèl·lules solars són variats: silici (cristallitzat i amorf), germani, seleni, AsGa, selenurs de coure (SeCu i Se₂CuGa), sulfurs diversos i òxids de coure entre d'altres. En la fabricació d'aquests materials es produeixen emissions de TeCd, B₂H₆, BCl₃, H₂, HF, SeH₂, SH₂, CH₄, PH₃, POCl₃, P₂O₅, FH₃, F₄Si, P₂Zn₃, entre d'altres i vapors metàl·lics, alguns tòxics. Per altra banda, tot i que l'arsenur de gal·li (AsGa) no és molt tòxic en el seu estat dissociat, si que ho són els seus compostos que poden produir des d'irritacions a la pell fins a problemes naturals més greus. S'estima que per a la producció de sulfur de cadmi, per cèl·lules que produïssin 100.000 MW/any s'obtidrien unes emissions aproximades de 34 Tm/any (Tm indica tona). Per tant, la fabricació de plaques fotovoltaïques és un procés complicat que necessita una gran diversitat de matèries primeres i crea problemes mediambientals. L'inconvenient més important però, és la seva complicació tècnica que fa que la fabricació de la tecnologia no sigui possible artesanalment i que per tant estigui subjecte als preus del mercat.[2]

Un altre inconvenient és el seu cost elevat a causa que el silici no es troba en estat pur i existeixen diversos elements de difícil eliminació. Per altra banda, s'ha de fondre i fer-lo créixer per a formar un monocristall, etapa en la qual s'inverteix molt temps i molta energia.

A més a més, s'ha de tenir en compte que la majoria d'energies renovables necessiten de grans extensions de terreny per tal de poder obtenir potències similars a les de les energies no renovables. Així doncs, la busca de noves superfícies on introduir-hi generadors fotovoltaïcs, tals com vidres, teules i teixits exposats al sol, és necessària per tal d'ampliar l'espectre de localitzacions potencials d'obtenció d'energia solar fotovoltaica.

Els inconvenients mencionats fan referència a la part més contaminant de qualsevol sistema fotovoltaic: el generador, el material del que està fet i la seva localització. Equips d'investigació de tot el món treballen per a buscar nous materials i noves distribucions d'aquest per tal d'augmentar el rendiment, reduir l'impacte i trobar noves aplicacions a aquesta tecnologia.

En aquest treball s'analitzarà una de les noves solucions que estan apareixent per tal de resoldre, o com a mínim reduir, aquesta problemàtica, a més d'oferir la possibilitat d'ampliar sensiblement el número de superfícies disponibles per a l'obtenció d'energia solar: el desenvolupament d'un teixit capaç d'absorbir l'energia solar, també anomenat tela

fotovoltaica.

2.1. Objectius del projecte

Aquest projecte es planteja dos objectius principalment: donar a conèixer una tecnologia en desenvolupament, els generadors fotovoltaics integrats a teixits, i comprovar si realment comportarien un canvi substancial en la generació d'energia elèctrica per a un potencial usuari de la mateixa.

2.2. Abast del projecte

Primerament, es presentarà el funcionament dels mòduls fotovoltaics i dels sistemes d'obtenció d'energia solar, per tal d'introduir l'estat en el que es troben les investigacions sobre teles fotovoltaïques. Un cop vista la tecnologia, es presentarà un establiment interessat en aquesta, i es dissenyarà una tela amb panells fotovoltaics integrats especialment creada per a les superfícies disponibles pel client. Es presentaran els consums i es simularà la producció de la instal·lació, per tal de, posteriorment, realitzar un estudi de viabilitat del projecte.

3. Introducció a les teles fotovoltaïques

L'objectiu de l'estudi de superfícies tèxtils amb capacitat fotovoltaica és desenvolupar un teixit amb un aspecte normal però que disposi de capacitat de captació d'energia solar. Tot i així, pel moment la millor tela fotovoltaica de la que disposem es basa en integrar mòduls fotovoltaics flexibles en una tela dissenyada especialment per a fer-los de suport. En aquest capítol s'introdueix la teoria darrere la generació d'energia solar a través de panells solars, per, posteriorment, fer una presentació dels principals desenvolupadors de teles fotovoltaïques.

3.1. L'energia solar fotovoltaica

Per a obtenir una millor comprensió del projecte present, a continuació es pretén explicar breument els principis de funcionament de qualsevol sistema fotovoltaic, és a dir, donar els coneixements fonamentals per a entendre com, mitjançant la irradiació solar, podem obtenir energia elèctrica apte per al consum.

Els avantatges de la tecnologia fotovoltaica són nombrosos i evidents: utilització de recursos naturals, autòctons (no és necessari transportar la matèria prima), abundants i gratuïts, tecnologia a l'abast, autonomia de subministrament amb un mínim de manteniment, baix impacte ambiental (la major part d'aquest és en la pròpia fabricació dels mòduls FV), absència de línies elèctriques, el seu cost no està sotmès a l'impacte de l'augment dels preus energètics, etc. Ja des de fa un parell de dècades, l'electrificació amb sistemes fotovoltaics es conforma com una de les principals alternatives vàlides a les fonts convencionals d'obtenció d'energia.

Aquesta tecnologia transforma directament la radiació solar en electricitat mitjançant l'anomenat efecte fotoelèctric, que es dona en els generadors fotovoltaics. L'element fonamental d'aquesta part de la instal·lació és la cèl·lula solar o FV. Tot i que gairebé totes estan fetes a partir del mateix material, n'existeixen d'altres amb característiques tècniques, formals i d'aspectes diversos. Aquest fet és d'especial rellevància en aquest treball, ja que s'hi estudiaran les cèl·lules que formen part d'una tela fotovoltaica, cosa que les obligarà a ser flexibles.

3.1.1. Introducció als sistemes fotovoltaïcs

Un sistema fotovoltaic (o FV, com serà anomenat en nombroses parts del projecte) és una instal·lació basada en mòduls fotovoltaïcs per tal de produir energia elèctrica. Els mòduls fotovoltaïcs transformen la llum del Sol directament a energia elèctrica. El fet que els mòduls estiguin integrats en una tela no canvia en absolut la resta del sistema.

L'energia solar fotovoltaica està indicada per a un ampli ventall d'aplicacions on es necessita generar electricitat, ja sigui per a satisfer les necessitats energètiques d'aquells que no disposen de xarxa elèctrica (sistemes FV autònoms), o bé per a generar energia per a la xarxa elèctrica (sistemes FV connectats en xarxa).

Una de les principals característiques dels generadors fotovoltaïcs que els diferencia d'altres fonts d'energia renovable és que únicament produeixen electricitat quan reben l'impacte de la llum del Sol (irradiància solar), i l'electricitat produïda és directament proporcional a la irradiància que ha incidit en la superfície. Resulta evident que en moltíssimes aplicacions el consum d'energia es produeix de manera totalment independent de la radiació solar (per exemple, un sistema d'il·luminació que funciona durant la nit), per tant, els sistemes, en la majoria de casos, hauran d'incorporar algun element que els serveixi d'emmagatzemador d'energia. En el cas dels sistemes FV l'energia acumulada es guardarà en bateries. En d'altres aplicacions, com en el bombeig d'aigua o els sistemes connectats a la xarxa, no s'hi precisen bateries, ja que l'energia s'emmagatzema d'altres formes; en el primer l'energia s'acumula en forma d'energia hidràulica i en el segon s'emmagatzema directament a la xarxa.

Per norma general, un sistema fotovoltaic consta dels següents elements:

- Un generador FV.
- Una bateria d'acumulació.
- Un regulador de càrrega.
- Un inversor.
- El consum.

El generador FV és l'encarregat de transformar l'energia del Sol en energia elèctrica. Tradicionalment, està format per diversos mòduls connectats en sèrie i/o en paral·lel, mentre que cada mòdul fotovoltaic està format per unitats bàsiques anomenades cèl·lules fotovoltaïques. La potència que pot subministrar una única cèl·lula FV és típicament de l'ordre de 3 W. Aquesta valor és massa petit per la majoria d'aplicacions, per tant la majoria

de fabricants decideixen agrupar-les per formar els mòduls FV. La potència que podrà subministrar un mòdul dependrà del nombre de cèl·lules que tingui (a més a més d'altres factors que es veuran més endavant, tals com la irradiació solar o la baixada de rendiment per brutícia). Si la potència obtinguda encara no és la desitjada, l'instal·lador connectarà els mòduls necessaris, en sèrie i en paral·lel, fins a obtenir la potència requerida.

En aquesta part del sistema és on es proposa el canvi real, ja que se substituirien els habituals panells solars per teles fotovoltaïques, que ofereixen una multitud d'avantatges que es presentaran més endavant. Tot i així, a efectes pràctics, la resta del sistema no hauria de transformar-se de manera substancial, ja que les teles actuaran de manera molt semblant a un panell FV tradicional en termes de tipus d'energia cedida i potència.

L'energia produïda pel generador FV s'acumula, en cas que no estigui connectat a la xarxa, en un sistema de bateries. D'aquesta manera l'energia produïda durant les hores de sol es pot utilitzar per la nit, o en els moments en que no es disposi de la irradiació solar suficient per a generar l'energia necessària. La bateria serà doncs un sistema que es carregarà i es descarregarà cíclicament (p. e. En un sistema d'il·luminació FV la bateria es carrega durant el dia i es descarrega a la nit). Per a regular els processos de càrrega i descàrrega de la bateria s'empra un regulador de càrrega. Aquest element és l'encarregat de protegir la bateria de sobrecàrregues o sobredescàrregues excessives que podrien danyar-la i escurçar-ne la vida útil. El seu mode d'operació és ben senzill: si detecta una sobrecàrrega, desconnecta el generador FV. El mateix passa en quan detecta una sobredescàrrega.

Els mòduls FV produeixen corrent contínua, que es pot emmagatzemar directament a les bateries. Quan extraïem potència elèctrica de les bateries, aquesta també es presenta en forma de corrent contínua. En el cas que es desitgi abastir algun consum de corrent altern (que és el que passa en la majoria de casos), és necessari disposar d'un inversor que s'encarregui de transformar la corrent contínua en corrent alterna amb el màxim rendiment possible.



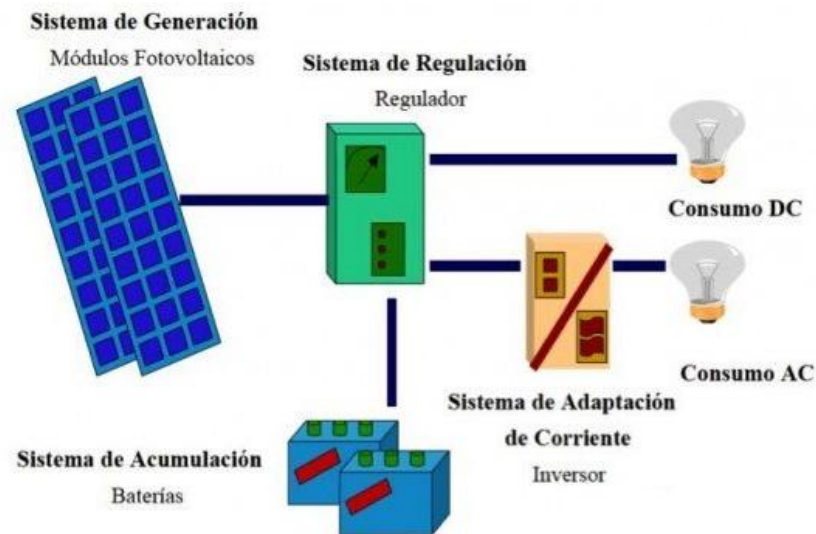


Figura 4.1. Funcionament d'una instal·lació fotovoltaica (Font: Web Solener)

Els consums i càrregues que el sistema fotovoltaic ha de satisfer (en el cas que s'estudià en aquest treball, bàsicament refrigeradors, lluminària, ràdios, etc.) pot ser de corrent continua (DC) o corrent alterna (AC). Es consideren els consums com una part substancial del sistema fotovoltaic, ja que aquests determinaran la seva mida, en el que es coneix com a dimensionat del sistema FV. En alguns sistemes FV els consums es coneixen a priori amb exactitud, com en el cas d'instal·lacions de sistemes de telecomunicació; tot i així, en altres casos pot resultar extremament difícil preveure quin serà el consum final, com en el cas que s'estudià, ja que intervindran diversos usuaris i el consum variarà dràsticament durant el dia i la nit. És per això que en qualsevol instal·lació fotovoltaica hi ha un component social: en molts casos, serà necessari, o molt preferible, involucrar l'usuari o usuaris en la operació del sistema, per tal de treure'n el màxim rendiment possible, allargar-ne la vida útil i rebre una experiència més positiva (a ningú li agrada que el regulador talli el consum a mitja activitat sense saber quin pot ser el motiu).

Els consums DC de baix voltatge (entre 12 i 48 V) poden connectar-se directament al sistema de bateries a través d'un regulador de càrrega. La principal avantatge d'utilitzar aparells DC és que són energèticament més eficients (p. e. làmpades DC, portàtils DC o frigorífics DC). Per contra, tenim uns quants inconvenients, tals com un preu superior als seus homòlegs AC i una restricció a baixos consums (en el cas d'una demanda de diversos kW es necessitarien corrents molt elevats que provocarien moltes pèrdues i la utilització de cables de gran secció).

Els aparells AC es poden trobar més fàcilment. Per a que aquests aparells puguin funcionar correctament, necessitem disposar d'un inversor en la nostra instal·lació. Els inversors són el cas més comú dels denominats dispositius de condicionament de potència. Val a dir,

però, que no sempre es tracten d'inversors DC/AC; també en podem trobar DC/DC, en el cas que vulguem modificar la relació voltatge/intensitat d'una font DC cap a un consum DC. A més a més, a vegades en els sistemes necessitem entregar corrent a consums DC i AC. En aquest cas el propi inversor tindrà una sortida per cada tipus de corrent.

3.1.2. Cèl·lules fotovoltaïques

La cèl·lula fotovoltaica és, en essència, una superfície exposada a la llum capaç de convertir aquesta en energia elèctrica. Actualment el material més emprat per construir aquest dispositiu és el silici cristal·lí, tot i que es poden utilitzar altres materials amb característiques semiconductor. La cèl·lula consta de dues làmines, una de tipus p, típicament dopada amb bor, i l'altre de tipus n, típicament dopada amb fòsfor.

En aquest apartat s'explica el fenomen físic que desenvolupen les cèl·lules solars, s'exposen les equacions que governen el transport en el semiconductor i es fan un seguit d'hipòtesis que permeten obtenir solucions analítiques pels corrents creats a la cèl·lula.

3.1.3. L'efecte fotoelèctric

La generació d'energia elèctrica, sense emissió de contaminants, es produeix com a resultat de la captació directa d'energia solar i mitjançant la intervenció de l'efecte fotovoltaic o fotoelèctric.

Aquest efecte té lloc en el generador fotovoltaic, i més concretament en les cèl·lules fotovoltaïques que el formen. Consisteix en la transformació de l'energia lumínica provinent del Sol en energia elèctrica. Aquesta transformació es produeix en incidir la radiació solar sobre un tipus de material anomenat semiconductor (un tipus de material a partir del qual es fabriquen les cèl·lules solars fotovoltaïques) que provoca un moviment d'electrons a l'interior de la cèl·lula. Això és degut a que a l'interior d'aquest element hi trobem dos regions amb una càrrega diferenciada, la regió p i la regió n. [4] Els electrons, en rebre l'energia de la llum solar, n'absorbeixen la suficient per tal de viatjar de la regió emissora n fins a la regió receptora p, tal com s'observa en la figura 4.2. Amb la diferència de potencial i la intensitat generades, s'estableix un corrent elèctric del que som capaços d'extreure energia.



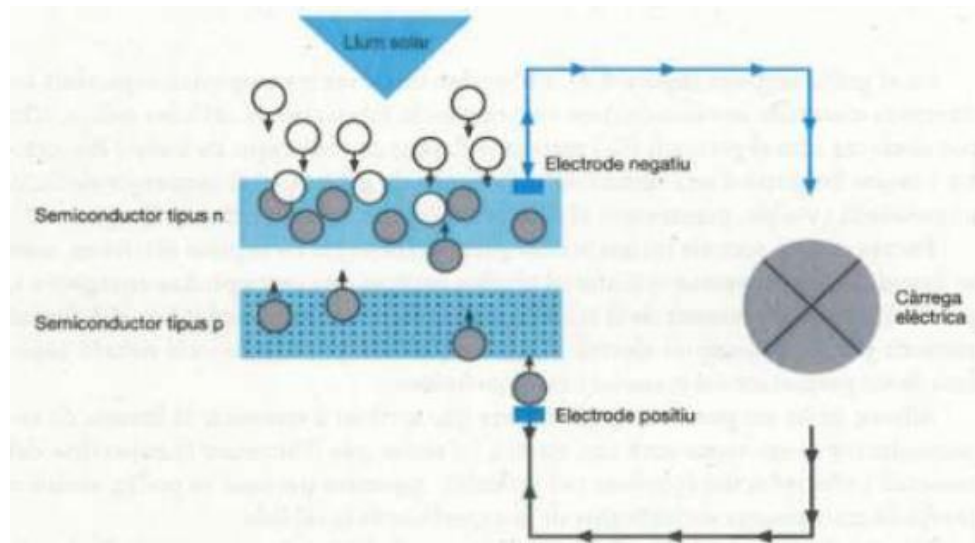


Figura 4.2. Esquema de funcionament d'una cèl·lula FV (Font: Institut Català d'Energia)

Com ja s'ha esmentat en els darrers punts, la cèl·lula fotovoltaica és l'element bàsic d'un mòdul fotovoltaic i l'electricitat produïda pel sistema depèn en gran mesura de les prestacions d'aquesta. Per això és necessari estudiar amb detall quins paràmetres i factors intervenen en el funcionament d'una cèl·lula.

3.1.4. Paràmetres de les cèl·lules fotovoltaïques

A continuació es presenta el circuit equivalent capaç de representar el funcionament d'una cèl·lula FV. Aquest està format per 4 elements:

- Una font de corrent continu, DC
- Una resistència en paral·lel, R_p
- Una resistència en sèrie, R_s
- Un díode, D

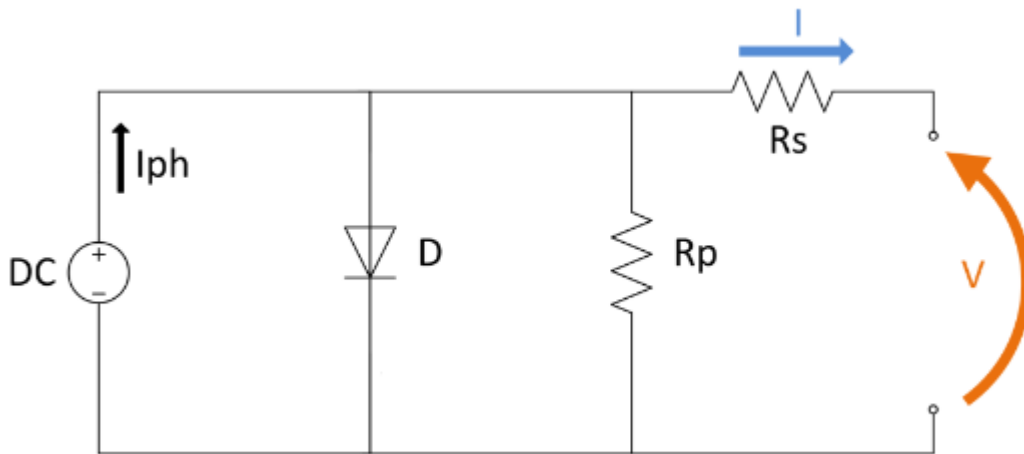


Figura 4.3. Esquematització del circuit equivalent d'una cèl·lula solar (Font: Elaboració pròpia)

La figura 4.3 mostra el circuit elèctric equivalent escollit, tot i que s'ha de tenir en compte que existeixen diversos circuits capaços de caracteritzar una cèl·lula.

El circuit anterior segueix la següent equació:

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\left(\frac{V + I \cdot R_s}{v_t} \right)} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p}$$

La gràfica d'aquesta equació és l'anomenada corba I - V . Aquesta és la que s'utilitza per analitzar el comportament de la cèl·lula fotovoltaica. Una vegada presentada l'equació cal explicar com s'arriba a ella i saber com afecten els elements del circuit en el comportament de la cèl·lula, i més concretament, en el comportament de la corba I - V .

Bàsicament, es contempla que la cèl·lula fotovoltaica es comporta com un díode ideal. Aquest efecte és causat per l'aplicació d'un voltatge a la unió p-n, que fa que el camp elèctric es redueixi i aparegui un flux d'electrons i forats, produint-se així la corrent. El flux de corrent augmenta amb el voltatge extern aplicat, seguint el fenomen conegut com a llei del díode ideal (equació del díode de Shockley) [4] i es pot expressar com:

$$I = I_s \left[e^{\left(\frac{V'}{n \cdot v_t} \right)} - 1 \right]$$

On I és el corrent que circula pel díode, I_s és el corrent de saturació en la foscor, V' és el



voltatge aplicat a la unió p-n, n és el factor d'idealitat de la unió p-n del díode (acostuma a ser igual a la unitat) i V_t és el voltatge tèrmic donat per l'equació:

$$v_t = \frac{k \cdot T}{q}$$

En aquesta expressió hi apareix la constant de Boltzmann $k = 1,38065 \times 10^{-23}$ (JK⁻¹), T que és la temperatura del dispositiu (K) i la càrrega de l'electró $q = 1,602176 \times 10^{-19}$ (C).

La font de corrent contínua presenta el corrent I_{ph} corresponent al corrent fotogenerat per la il·luminació que rep la cèl·lula.

$$I = I_s \left[e^{\left(\frac{V'}{V_t} \right)} - 1 \right] - I_{ph}$$

La incidència de la llum té l'efecte de moure la corba I - V cap avall, al 4t quadrant. Tot i això, la corba sol ser representada per conveni al primer quadrant, modificant l'equació com a:

$$I = I_{ph} - I_s \left[e^{\left(\frac{V'}{V_t} \right)} - 1 \right]$$

La resistència en sèrie, R_s , representa la resistència del volum del material, la resistència de l'emissor (tipus n) deguda al flux transversal de corrent, la resistència dels contactes metall-semiconductor, etc. Cada una d'aquestes resistències presenta una fórmula que la descriu, però per tal de simplificar els càlculs i l'explicació, la resistència global R_s és una aproximació de la suma global de totes.

Per altra banda, la resistència en paral·lel R_p és deguda a la no linealitat de la unió n-p i a les impureses properes a la unió. Engloba les fugues de corrent causades pels defectes puntuals produïts durant el procés de fabricació. Amb la incorporació d'aquestes dues resistències, el voltatge V' esdevé $V' = V + I \cdot R_s$, així s'acaba obtenint l'equació presentada inicialment.

Pel que fa a la corba I - V , aquesta es veu alterada pels paràmetres esmentats, però acostuma a seguir la forma de la figura 4.4. Aquesta corba mostra la relació entre el voltatge terminal V i el corrent de cèl·lula I :

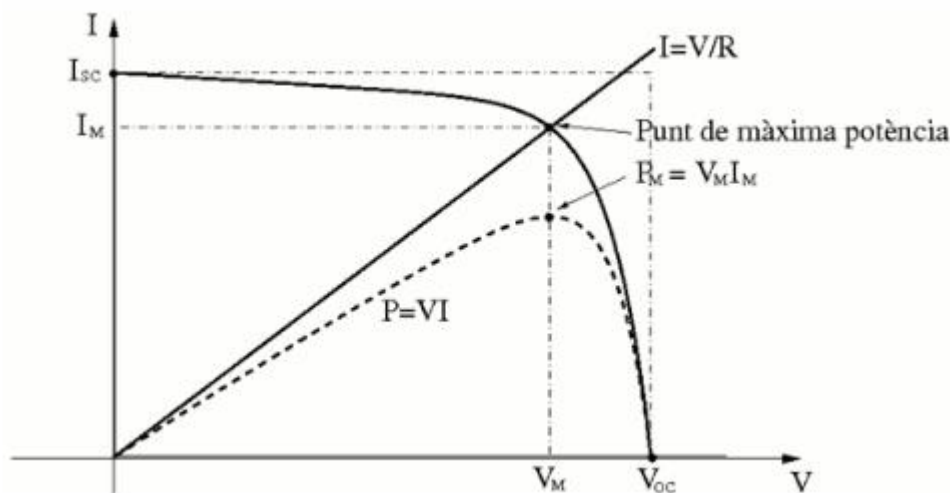


Figura 4.4. Corba I-V d'una cèl·lula fotovoltaica (Font: Institut Català d'Energia)

Aquesta corba permet definir diversos paràmetres fonamentals de la cèl·lula solar, molts dels quals serveixen als fabricants per tal de definir el seu producte.

Per tractar els següents paràmetres, es parteix d'una versió simplificada del circuit equivalent al de la figura 4.4. En aquest cas es presenta la cèl·lula com una font de corrent continu I_{ph} i un díode ideal. En aquesta situació s'ha de tenir en compte que $I_{ph} = I_{sc}$.

$$I = I_{sc} - I_s \left(e^{\frac{V}{V_t}} - 1 \right)$$

El primer paràmetre característic és el corrent de curtcircuit I_{sc} , que és la màxima intensitat que pot circular per la cèl·lula i es produeix quan el voltatge és nul.

El segon paràmetre V_{oc} indica el màxim voltatge que es pot tenir als extrems d'una cèl·lula, és la tensió de circuit obert i es pot mesurar quan no hi hagi cap càrrega connectada.

$$V_{oc} = V_t \cdot \ln\left(1 + \frac{I_{sc}}{I_s}\right)$$

El que també s'observa a la figura és que el producte de la tensió pel corrent positiu en tot el primer quadrant, per tant la cèl·lula generarà potència en qualsevol punt d'aquest quadrant. La potència màxima no estarà ni en I_{sc} ni en V_{oc} , per això cal definir uns nous paràmetres I_m i V_m , que són, respectivament, la intensitat de pic i la tensió de pic en P_m . La potència pic P_m és la potència elèctrica màxima que pot subministrar una cèl·lula en les



condicions mediambientals donades. Les equacions que segueixen són:

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

$$I_m = I_{sc} - I_s \cdot \left(e^{\frac{V_m}{v_T}} - 1 \right)$$

$$V_m = V_{oc} - v_T \cdot \ln \left(1 + \frac{V_m}{v_t} \right)$$

Amb aquests elements descrits, se'n pot definir un altre, el factor de forma FF . Quantifica la relació existent entre la potència màxima i la potència que es generaria amb una hipotètica cèl·lula amb característica I-V igual a un rectangle de costats I_{sc} i V_{oc} . Els valors més habituals són 0,7 i 0,8.

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

El més important dels paràmetres de la cèl·lula fotovoltaica és el rendiment de conversió fotovoltaica η . El rendiment és el quocient entre la potència màxima entregada per la cèl·lula i la potència rebuda del sol per la mateixa. Cal indicar en quin espectre solar es treballa i quina irradiació rep la superfície, ja que aquest rendiment depèn de les condicions mediambientals donades.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{\text{Àrea} \cdot P_{in}} = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{\text{Àrea} \cdot P_{in}}$$

On l'Àrea simbolitza l'àrea de la cèl·lula i P_{in} la potència incident.

Com ja s'ha esmentat, les condicions climàtiques i la temperatura influeixen en gran mesura a la potència produïda per una cèl·lula fotovoltaica. Com que aquestes depenen molt de la latitud i altitud on es trobi el sistema fotovoltaic, s'han establert unes condicions

estàndard de mesura (STC), que són les que s'acostumen a utilitzar pels estudis:

- Irradiància (G) de 1000 W/m^2
- Temperatura de 25°C o 298 K
- Un coeficient de massa d'aire (AM) de 1,5

Per tal d'il·lustrar com afecten els canvis en aquestes condicions en una cèl·lula fotovoltaica es presenten les figures 4.5 i 4.6.

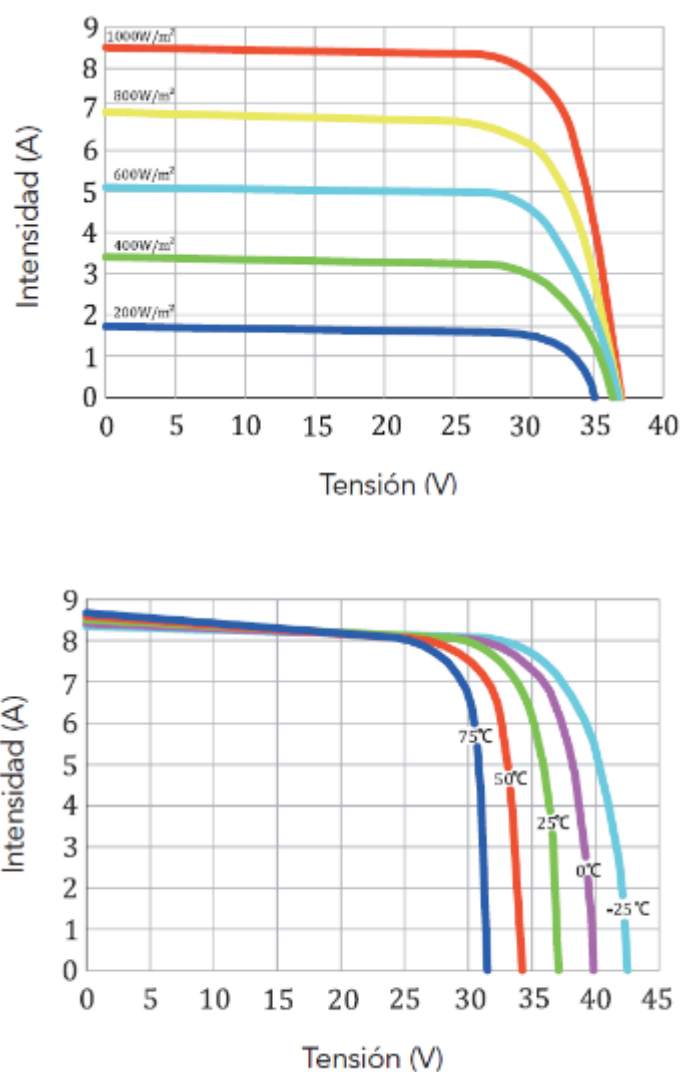


Figura 4.5 i 4.6. Corbes d'eficiència respecte a les condicions ambientals (Font: Asociación de la Industria Fotovoltaica)



3.1.5. Mòdul fotovoltaic

Una cèl·lula fotovoltaica no genera suficient energia per a realitzar quasi cap procés, per tant en la majoria de casos s'agrupen grans números de cèl·lules per tal d'arribar a la potència desitjada.

En la majoria de casos la disposició entre elles serà en sèrie, tot i que també es poden col·locar en paral·lel o bé, en generadors més complexos, de manera mixta. La connexió en paral·lel s'utilitzarà per connectar mòduls fotovoltaics, per tal de dotar el sistema de més corrent, però no s'utilitzarà per a unir cèl·lules.

Pel que fa a la unió de cèl·lules solars, s'ha comentat que quasi sempre es connecten en sèrie, tot i que quan es tracta del mòdul fotovoltaic, l'elecció en sèrie o paral·lel no és tant òbvia. Existeixen tres tipus de connexió:

- Connexió en sèrie: Es connecta el pol negatiu d'un mòdul amb el positiu d'un altre. La tensió total dels mòduls serà la suma de la tensió de cada placa. La intensitat total dels mòduls serà la mateixa intensitat d'una placa.
- Connexió en paral·lel: S'uneixen tots els pols negatius i tots els positius. La intensitat total dels mòduls serà la suma d'intensitats de cada placa. La tensió total dels mòduls serà la mateixa tensió d'una sola placa.
- Connexió mixta: S'obté de la combinació dels anteriors. La tensió total dels mòduls serà la suma de les tensions de les plaques connectades en sèrie. La intensitat total dels mòduls serà la suma de les intensitats de les plaques connectades en paral·lel.

En els generadors FV estudiats en aquest treball es considerarà només la unió en sèrie, de tal manera que el voltatge del mòdul (VM) serà la suma dels voltatges dels díodes individuals i el corrent que circula per cadascun dels dispositius serà el mateix. Aquesta relació es pot veure en la següent figura:



Figura 4.7. Esquema de circuit en sèrie (Font: Elaboració pròpia)

En la disposició en sèrie s'ha de tenir en compte un possible problema molt important: quan no totes les cèl·lules treballen en les mateixes condicions (no produeixen el mateix corrent), es provoca una baixada en l'eficiència de la instal·lació. Aquest problema serà d'especial rellevància en les teles FV, ja que en ser un element flexible estaran subjectes a tenir diferents inclinacions, ja sigui per les condicions climatològiques o el propi pes del generador. A més, aquest problema desencadena altres inconvenients, com la formació de punts calents o una dissipació excessiva del corrent generat.

3.1.6. Tipologies de sistemes fotovoltaics

Existeixen dos grans tipus d'instal·lacions solars fotovoltaïques, les aïllades i les connectades a xarxa. Les primeres es caracteritzen per satisfer de manera total o parcial la demanda d'energia elèctrica sense la necessitat d'haver d'estar connectat a la xarxa. Per tant, és imprescindible poder emmagatzemar l'energia captada durant les hores de radiació solar amb la finalitat de consumir-la posteriorment. Els principals equips són les bateries o acumuladors, els quals han de gaudir de suficient capacitat d'emmagatzematge per tal de poder subministrar l'electricitat durant els períodes de núvol o per la nit. Aquest tipus d'instal·lacions es solen emprar per a l'electrificació de zones rurals, ja que en tractar-se d'entorns aïllats l'accés a la xarxa està penalitzat econòmicament degut a la distància i subjecte a problemes de talls en el subministrament, una potència real inferior a la contractada, etc.

En canvi, en el cas de disposar d'una instal·lació solar fotovoltaïca connectada a la xarxa, es passa a tenir dues instal·lacions elèctriques diferenciades. Per una banda, es té la línia convencional de subministrament energètic, i per l'altra banda, la instal·lació solar fotovoltaïca. D'aquesta manera s'evita l'ús de bateries, que en nombrosos casos són la part de la instal·lació que dóna més problemes i que té un manteniment de cost més elevat, i es crea una aplicació més directa i eficient de la tecnologia.

3.1.7. Elements complementaris

Bateries o acumuladors d'energia

La bateria o acumulador d'energia és un element indispensable en qualsevol sistema fotovoltaïc aïllat. Aquestes s'utilitzen per a emmagatzemar l'energia excedent del generador FV durant les hores d'alta producció, per tal de compensar les hores o períodes de baixa



producció o inactivitat. A la Normativa Tècnica Universal es defineixen una sèrie de paràmetres per tal de caracteritzar i dimensionar de forma adequada una bateria [6]:

En primer lloc, es poden identificar dos cicles de càrrega d'una bateria:

- El cicle diari, que és el cicle corresponent a la diferència de radiació que hi ha entre el dia i la nit.
- El cicle estacional, que és el cicle corresponent a períodes llargs amb nuvolositat, o els mesos de l'any amb una impacte de la irradiació solar més baix.

La majoria de bateries són un tipus d'acumulador de naturalesa electroquímica. Aquests acumuladors presenten les següents característiques, claus per tal d'entendre i quantificar el seu funcionament:

- La capacitat nominal (C_b), que és la quantitat de càrrega elèctrica que es pot extreure d'una bateria. És molt important tenir en compte, però, que la capacitat varia amb la intensitat de la descàrrega a la que es sotmet la bateria.
- El règim de descàrrega (C_x), que és la càrrega màxima que pot subministrar la bateria en funció del temps de descàrrega, o la intensitat de descàrrega. El seu valor és una ràtio entre la capacitat nominal i la intensitat de descàrrega.

La vida d'una bateria està condicionada per la profunditat del cicle diari i del cicle estacional. Per aquesta raó els fabricants de bateries fan referència al nombre de cicles per definir la vida d'una bateria. Per això cal definir els següents conceptes:

- Profunditat de descàrrega (PD), que és la proporció de càrrega buida d'una bateria respecte a la seva capacitat nominal.
- Profunditat de descàrrega diària (PD_d), que és la profunditat de descàrrega mitjana respecte els cicles diaris.
- Profunditat de descàrrega estacional o profunditat de descàrrega màxima (PD_{max}), que és valor llindar de la PD_d . Les bateries poden tenir un règim de descàrrega major que la PD_d de manera puntual, tot i que mai poden superar la PD_{max} , ja que això suposaria un escurçament important en la vida útil de la mateixa.
- Capacitat útil (C_u), que és la capacitat que pot oferir la bateria si es té en compte la PD_{max} .

Un tret molt important de les bateries és la seva vulnerabilitat. Ja s'ha comentat que les descàrregues profundes tenen conseqüències sobre la bateria. Un altre aspecte a tenir en compte és la possibilitat que la bateria pateixi una sobredescàrrega. Si no hi ha cap sistema de desconexió entre el generador FV i la bateria, quan aquesta es trobi quasi al màxim nivell de càrrega i segueixi rebent-ne, hi ha la possibilitat que s'evapori l'aigua de l'electròlit i es produeixi corrosió dins els materials que conformen la bateria. En aquest punt és on entra el regulador de càrrega.

Reguladors de càrrega

El regulador de càrrega és l'element encarregat de garantir la vida útil de les bateries, components que, com s'ha explicat anteriorment, són força delicats. La principal precaució respecte a una bateria és assegurar-se que no rebí sobrecàrregues ni sobredescàrregues profundes, i aquesta és la funció de la que s'ha d'encarregar el regulador.

Els principals reguladors comercialitzats presenten una varietat de funcions més àmplia que la simple connexió o desconexió del sistema de la bateria. A continuació es presenten els dos tipus de model de regulador més estesos per les instal·lacions FV d'arreu del món: els reguladors basats en el sistema de modulació PWM (*Pulse Within Module*) i els reguladors que incorporen un cercador MPPT (*Maximum Point Power Tracking*).

Els models PWM presenten una millora en el mètode de regulació de càrrega de la bateria. Aquesta millora s'assoleix dosificant la intensitat en funció de l'estat de càrrega de la bateria, i evitant les connexions i desconexions brusques.

Els reguladors MPPT també són reguladors PWM, però amb una funció addicional incorporada. Aquesta millora es basa en permetre que el generador FV treballi a una tensió diferent a la de la bateria. Aquesta modificació és la que permet realitzar una segona funció, que consisteix en fer el seguiment del punt de màxima potència del generador FV, aprofitant al màxim l'energia que és capaç de subministrar.

Hi ha una diferència significativa respecte al cost dels models. Com a conseqüència, és més raonable pensar, en el cas que sigui necessari, d'adquirir un regulador PWM per al cas del que s'ocuparà aquest projecte.

Inversors

Els inversors són convertidors de CC a CA. Incloure'ls al circuit el fa més car però són indispensables sempre que s'hagi de cedir energia a la xarxa o algun aparell tingui un consum en CA.



Aquests es diferencien per la qualitat d'ona generada en CA. Actualment es comercialitzen dos tipus d'inversors: els que generen una ona sinusoïdal pura i els que la generen modificada. Normalment els inversors d'ona sinusoïdal pura són indispensables quan hi ha motors o bombes, mentre que en la resta d'aplicacions un inversor d'ona sinusoïdal modificada ja garanteix un funcionament correcte.

Una altra característica important dels inversors és el seu rendiment en càrrega parcial. Aquests redueixen el seu rendiment si la càrrega parcial que reben és inferior a un cert valor. Els inversors comercials garanteixen, coma norma general, que aquest límit no superi el 20% de la càrrega. A la figura 4.8 es mostra la corba d'eficiència d'un inversor en funció de la càrrega parcial que rep.

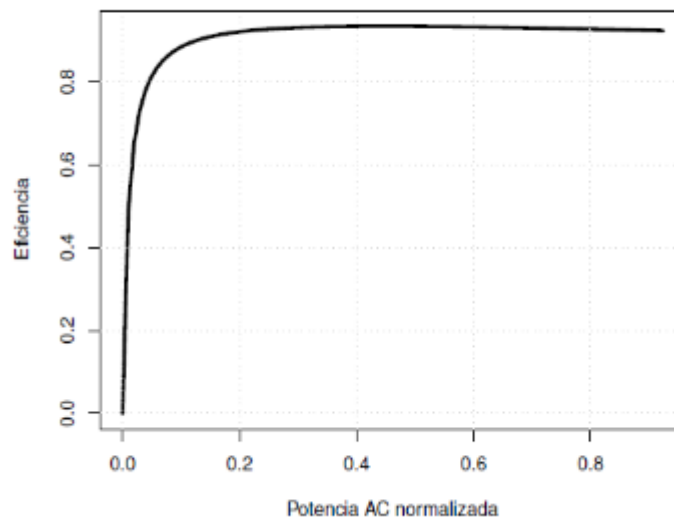


Figura 4.8. Exemple de corba d'eficiència d'un inversor en càrrega parcial (Font: [3])

3.2. Les teles fotovoltaïques

Un cop introduïts els sistemes d'obtenció d'energia solar, ja es pot presentar la tecnologia objecte d'estudi en aquest treball: els generadors fotovoltaics integrats en estructures tèxtils. La idea darrere aquests dispositius parteix de la següent premissa: qualsevol estructura exposada a la radiació solar hauria de ser capaç d'absorbir-ne l'energia. Això pren especial rellevància en zones del planeta on hi ha un gran impacte solar durant quasi tot l'any, com és el cas del nostre país.

Aquest treball parteix de la sospita que es podria extreure un gran rendiment d'un producte

que fos competitiu i comercialitzat a gran escala en aquest àmbit, ja que les aplicacions que en sorgirien serien molt nombroses. Començant per tendals per a cobrir part del jardí, el pati o la terrassa de casa, fins a una zona d'aparcament o un establiment comercial, aquests dispositius servrien per a subministrar energia a enllumenats, per a recarregar mòbils o, en cas de disposar de vàries superfícies on instal·lar-ho, fins i tot cobrir totalment la demanda energètica del propietari.

Amb la notable expansió de les energies renovables en els últims anys, s'han realitzat nombrosos estudis i projectes relacionats amb la generació FV per la via tèxtil. Per aquest motiu, es realitzarà primer un anàlisi dels projectes que han treballat vers aquest fi i es contemplaran els resultats que han obtingut. Un cop vistos, es farà una tria del model que sigui més adient per tal de realitzar l'estudi posterior.

Actualment, les teles amb mòduls fotovoltaics flexibles ja s'utilitzen sobretot de manera individual o en petites agrupacions. Estan molt estesos en moltes activitats desenvolupades a l'aire lliure, tals com l'escalada, l'acampada, les regates nàutiques o fins i tot a sostres de vehicles.

3.2.1. Principals desenvolupadors

Els primers mòduls fotovoltaics flexibles van aparèixer en velers de competició. Aquests dispositius anaven instal·lats a les veles, i servien per a subministrar energia a les llums de navegació del vaixell. Des d'aquelles primeres aplicacions hi ha hagut diferents empreses i centres d'investigació que han estat tractant d'ampliar el ventall de possibilitats d'aquesta tecnologia, sobretot apuntant cap a la creació de roba i tendals capaços d'absorbir l'energia solar. Aquesta investigació ha crescut especialment a partir de l'any 2010 fins a avui en dia, i aquí es fa un recull dels projectes que han tingut més èxit en aquest àmbit.

Es poden trobar les fotografies dels prototips de cadascun d'aquests projectes en l'Annex A.

Solar Fiber [7]

El projecte *Solar Fiber* va ser presentat el maig de 2012 a la iniciativa *Ideas waiting to Happen*, organitzada per *Creative Cities Amsterdam Area*. El projecte va guanyar el primer premi de la mà de L&P Group i Philips.

La idea darrere de *Solar Fiber* era crear una fibra flexible fotovoltaica, que convertís



l'energia solar en energia elèctrica. El segon objectiu era que aquest filament pogués formar part de qualsevol tipus de teixit, tant industrial com comercial. El projecte va ser exitós, i segueix en desenvolupament en l'actualitat. Els teixits que han arribat a ser fabricats són peces de roba exclusivament, capaces d'absorbir quantitats significatives d'energia elèctrica. Aquestes peces poden ser barrets, jaquetes, bufandes, etc., principalment indumentària per al tronc superior. Això permet a l'usuari carregar la bateria del mòbil o de qualsevol altre aparell elèctric que porti.

Wearable solar [8]

Wearable Solar és un projecte impulsat per l'estudi de moda holandès Pauline Van Dongen, l'any 2014. L'objectiu era crear una peça de roba que pogués ser utilitzada de panell fotovoltaic. Per assolir tal fi, els dissenyadors van incorporar petites bandes de plaques fotovoltaïques flexibles en algunes seccions de la roba. El dos primers models presentats, el *Wearable Solar Dress* i el *Wearable Solar Shirt* eren dos peces de roba negra, amb les plaques FV col·locades verticalment sota un plec, que permet tenir-les a la vista o cobertes.

El teixit és una combinació de cuir i cotó, la rendibilitat de les plaques és suficient com per carregar el 50% de la bateria d'un *smartphone* en una hora d'exposició solar. L'estructura interna dels panells FV està feta a base de capes, que busquen imitar la disposició estratificada de les cèl·lules del cos per tal de millorar, paral·lelament, la comoditat de l'usuari que porti la peça.

El mateix estudi ha presentat diversos projectes enfocats al mateix fi, obtenir energia solar directament des de la roba que dugui l'usuari. Abans del ja presentat, a principis de 2014, l'estudi de Van Dongen ja havia fet una proposta seguint el mateix objectiu, la *Solar Shirt*, que tenia un funcionament semblant a la *Wearable Solar*. Després d'aquests dos, l'any 2015 va presentar la *Solar Parka* i posteriorment, l'any 2016, la *Solar Windbreaker*.

Renovagen [9]

Renovagen és una empresa tecnològica britànica, especialitzada en noves tecnologies del mercat global de l'energia. El seu gran objectiu és superar els desafiaments que es van presentant en el consum mundial d'energia, mitjançant invencions i desenvolupant conceptes revolucionaris sempre enfocats cap al sector de les energies renovables.

El seu primer producte, anomenat *Rapid Roll 'T'*, és un sistema transportable fotovoltaic,

basat en una tela enrotllable amb receptors FV. El principi d'ús seria el següent: la tela va enrotllada a la part posterior d'un camió petit, es transporta fins al lloc de consum i allà es desplega el *camp solar*. L'energia obtinguda pot ascendir fins als 16 kW·h. Aquest sistema ha estat especialment pensat per a localitzacions remotes, per a les poblacions afectades per desastres naturals, per usos militars i per la mineria de llocs remots, ja que en pocs minuts pots establir un subministrament constant d'energia elèctrica allà on calgui.

Iowa Thin Film Technologies (ITFT) [10]

ITFT és una companyia privada americana, especialitzada en components electrònics i productes de capa fina, principalment panells fotovoltaics flexibles i enrotllables. El seu principal producte, el *PowerFilm Solar Serie*, és exactament això. Es tracta de panells solars posats en sèrie, prou flexibles com per adaptar-se a qualsevol superfície, a més d'oferir la capacitat de d'enrotllar-se completament. Estan específicament dissenyats per a activitats a l'aire lliure, tals com l'excursionisme o la navegació.

SMIT [11]

SMIT és una empresa americana, nascuda el 2011 i enfocada a solucionar problemes de subministrament energètic mitjançant noves tecnologies, sempre relacionades amb l'energia fotovoltaica. El seu projecte *Tensile Solar* n'és un bon exemple: es basa en tendals fabricats a partir de matèria orgànica i que incorporen cèl·lules fotovoltaiques per tal d'absorbir l'energia solar.

El fet que els materials emprats per a la construcció siguin orgànics el converteix en el primer projecte fotovoltaic totalment ecològic i reciclable. A més a més, la silicona amorfa de la que es constitueixen els panells pot arribar al seu valor de treball nominal fins i tot en un dia ennuvolat. Per últim, la gran flexibilitat i llibertat que ofereix aquest producte el fa capaç d'adaptar-se a quasi qualsevol punt on es vulgui instal·lar, ja que se'n pot modificar la forma mitjançant els cables tensors, i aconseguir així el màxim rendiment.

Filaments Flexibles Auto-recarregables [12]

Jayan Thomas és un expert en nanotecnologia que treballa actualment a la University of Central Florida. El novembre de 2016 va desenvolupar uns filaments flexibles que es poden integrar a la roba i que generen energia elèctrica a partir d'energia solar. No només això,



sinó que els filaments també funcionen de bateria: emmagatzemen l'energia que es va produint *in situ*.

Els filaments tenen forma de cintes de coure molt primes, flexibles i lleugeres i cada un d'ells va equipat amb una cèl·lula fotovoltaica a un costat i capes d'emmagatzemament energètic a l'altre. D'aquesta manera, poden convertir qualsevol peça de roba en una bateria portàtil alimentada mitjançant energia solar, de manera que mai seria necessari endollar-ho a la corrent.

L'equip en el que treballa Jayan Thomas ja ha fet altres desenvolupaments pioners en el camp de les energies solars i l'emmagatzemament d'energia, tals com un cable que funciona de conductor i de bateria a la vegada i unes cèl·lules fotovoltaïques semitransparents que es poden integrar en el vidre per a crear finestres intel·ligents amb les que captar energia solar.

Pvilion [13]

L'empresa americana Pvilion és pràcticament un referent mundial en el camp de l'energia solar flexible. Des d'estacions de recàrrega d'energia mitjançant energia solar fins a cortines, façanes i peces de roba receptores, són experts en la fabricació i distribució d'aquestes noves tecnologies. A continuació es presentaran els projectes d'interès per al treball present desenvolupats per aquesta empresa.

Cascades Solar Bridge:

Pvilion es va unir amb Figg Bridge Engineers, una altra empresa americana d'enginyeria, per tal de dissenyar, fabricar i instal·lar el primer pont per a vianants receptor d'energia solar. Aquest pont està construït a la ciutat de Tallahassee, a Florida, i és un dels punts d'interès alhora que és la joia de la corona del creixement de la ciutat.

Solar Fabric Carport:

Integrar tela i panells fotovoltaics és la línia de negoci de Pvilion. Amb la *Solar Fabric Carport*, o Garatge de Tela Solar, l'empresa instal·la una bonica carpa sobre els aparcaments de vehicles, capaç d'absorbir grans quantitats d'energia alhora que conserva la línia estètica del lloc. Està dissenyat per a ser produït a gran escala, gaudint de panells solars d'alta eficiència alhora que les teles són de gran resistència al desgast.

Solar Event Tents:

Aquest producte pot ser emprat de manera temporal o permanent. L'empresa Pvilion ha estat treballant durant més de 30 anys conjuntament amb l'exèrcit americà per tal d'aportar solucions als habituals problemes de subministrament energètic en llocs remots. D'aquesta cooperació neix el projecte Solar Event Tents, una tela alimentada per l'energia solar, capaç d'adaptar-se a petites i grans estructures tèxtils. Lleugera i fàcil d'instal·lar, aquest producte oferirà ombra i permetrà la recàrrega de petits instruments elèctrics, tals com *smartphones*, petit material mèdic, *tablets* o bateries.

3.2.2. Avantatges i inconvenients de la tecnologia

Avantatges	Inconvenients
<ul style="list-style-type: none"> - No requereixen gaire manteniment. - No disposen de parts mòbils. - No generen residus. - Es poden instal·lar a qualsevol superfície. - Treballen silenciosament. - Resisteixen les condicions climàtiques adverses, i, en cas extrem, es poden guardar i protegir, cosa que amplia la seva vida útil - Molt poc pes - En ser mòduls més lleugers necessiten menys energia i materials per a fabricar-los - Tenen una vida útil llarga - Es poden reparar 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessitat d'espai per a fer la instal·lació - La producció és variable segons la climatologia - Requereixen una inversió inicial - El fet de ser flexibles pot empitjorar la producció - Normalment no seran capaces de satisfer al 100% el consum, per tant hauran d'estar connectades a xarxa

Figura 4.9. Avantatges i inconvenients d'instal·lar teles FV. (Font: elaboració pròpia)



3.2.3. Model seleccionat per a realitzar l'estudi

Les teles FV gaudirien, com s'ha pogut comprovar, de nombroses avantatges, inclús davant d'altre tipus de generadors fotovoltaïcs. Les seves principals fortaleeses raurien en la seva capacitat de ser transportades, emmagatzemades si fos necessari (tal com s'enrotlla la roba d'un tendal davant una tempesta) i la facilitat d'instal·lació. Encara que aquests fets siguin evidents, tota nova tecnologia necessita d'investigació i publicitat per tal d'esdevenir d'ús públic i generalitzat.

Aquest no és, de moment, el cas dels teixits amb capacitat d'absorció fotovoltaica, tot i que tot apunta que en un futur poden arribar a ser una tecnologia tant coneguda com la generació fotovoltaica actual. És per aquest motiu que, per tal de realitzar un estudi tant acurat com fos possible, s'han pres valors de productes que ja estiguin actualment en el mercat.

Estèticament, l'empresa Pvilion, el *Tensile Solar* i el projecte *Wearable Solar* aconseguixen un producte molt atractiu a la vista, però de moment no comercialitzen a gran escala, sinó que fabriquen adaptant-se a cada client i les seves necessitats. Produeixen una tela amb capacitat fotovoltaica integrada, ja que aquesta tela fa de suport per a mòduls fotovoltaïcs flexibles adherits a sobre. Per altra banda, el projecte *Solar Fiber* o la investigació conduïda per Jayan Thomas caminen cap a la direcció de la tela absorbent d'irradiància solar, encara que es troben en fases experimentals pel moment i estan més inclinats a la producció de peces de roba. Per altra banda, les propostes de Renovagen i IFTF es basen en una consecució de mòduls FV que formen una superfície flexible i lleugera, amb capacitat absorbent i la possibilitat de ser enrotllats i/o transportats, encara que estèticament no aconseguixen un producte massa atractiu.

Així doncs, totes les opcions presenten avantatges i inconvenients. A continuació es detallarà com és el procés de fabricació d'una tela de l'estil de l'empresa Pvilion o Tensile Solar, que són el referent que es pren alhora de crear el producte que es desitja per a l'establiment objecte d'estudi del cas pràctic.

3.2.4. Fabricació d'una tela fotovoltaica

El procés de fabricació d'una tela amb capacitat fotovoltaica consta, actualment, de 3 parts: la fabricació dels mòduls, la fabricació de la tela suport i la instal·lació dels mòduls en la mateixa.

Els mòduls fotovoltaïcs de les lones, encara que flexibles, segueixen el mateix procés de

fabricació que la resta de panells fotovoltaics. La matèria prima per a la creació de panells solars és el lingot de silici. Un cop arriba al lloc de fabricació, el lingot és fos i tallat en rodanxes. Aquestes parts seccionades formen el *wafer* (la majoria d'indústries treballen directament a partir d'aquest pas, no fan la fabricació del *wafer*). A partir d'aquí el procés segueix els següents passos:

- Control de qualitat del *wafer*.
- Neteja i texturització dels *wafer* en tancs químics.
- Assecament del procés anterior.
- Aplicació d'una emulsió de fòsfor i introducció a un forn de difusió.
- Neteja de l'òxid produït en la reacció anterior.
- Aplicació d'una capa antireflectant.
- Serigrafia a la cara posterior.
- Assecament en un forn de rajos infrarojos.
- Serigrafia de pasta de plata a la cara davantera.
- Assecament de la pasta en un forn de rajos infrarojos.
- Control final de la cèl·lula amb una medició unitària de la corba I-V.

A partir d'aquest punt ja es disposa de cèl·lules fotovoltaïques. Un cop fabricades, s'agrupen en grans números fins a arribar al punt de produir la potència desitjada i formar el mòdul fotovoltaic. Aquest procés es realitza mitjançant els següents passos:

- Es solden tires de coure a la part davantera i posterior de la cèl·lula.
- Es col·loquen l'EVA, el Tedlar, les tires de la cèl·lula i es solden els busos.
- Es fa un prelaminat.
- Es lamina tot el panell
- Es fa un retallament de rebaves, s'emmarca i es col·loca la caixa de connexions.



- Es fa un últim control mitjançant un simulador solar.

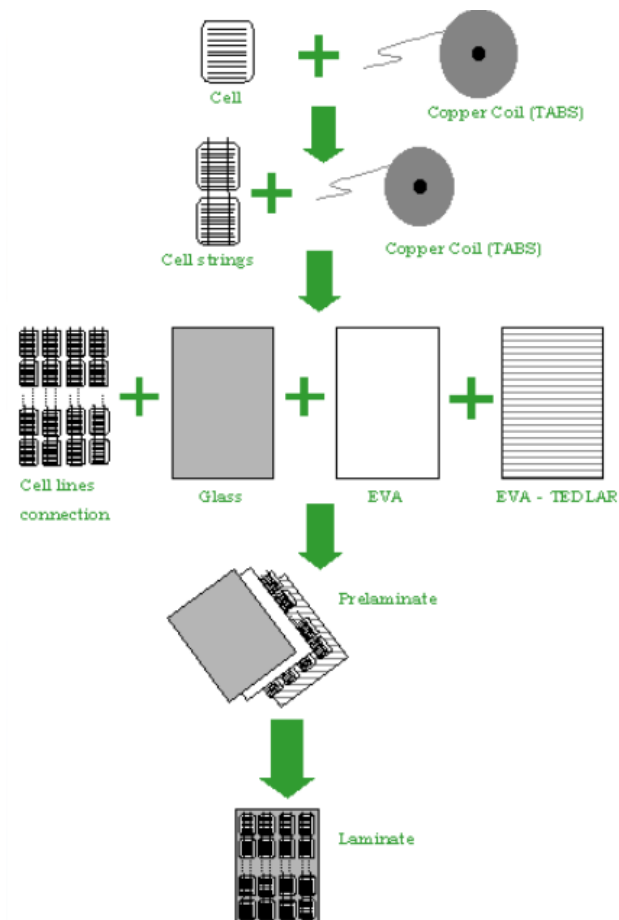


Figura 4.10. Esquematzació de la fabricació d'un mòdul FV a partir de la cèl·lula. (Font: Web Solar-energia)

Els teixits que fan de suport en les teles fotovoltaïques existents són principalment de naturalesa polimèrica, ja que materials com el cotó no presenten una resistència suficient com per suportar el pes de diversos generadors FV flexibles, encara que siguin més lleugers que els habituals panells solars. Així doncs, els materials més emprats pels projectes presentats són el polièster, les poliamides i més en concret, el niló, ja que disposen d'una bona resistència i no es veuen quasi afectats pels agents atmosfèrics no extrems.

L'últim pas per a fabricar una tela fotovoltaica és l'ajuntament dels panells i la tela suport. La distribució dels mòduls sobre la tela es pot fer adequant-se a les necessitats del consumidor. La norma que s'utilitza habitualment, ja que molts cops les teles faran d'elements decoratius i hauran de seguir una certa línia estètica, és el de màxima producció conservant la morfologia del seu emplaçament.

La subjecció dels panells a les teles es fa mitjançant unes anelles que es situen en els extrems dels mòduls, i la fixació pot ser permanent o temporal, també al gust del consumidor. El cablejat, sobretot en instal·lacions fixes, es fa passar per l'interior de la tela per tal de ser el menys notable possible, i es dirigeix o bé a l'inversor o bé a les bateries, depenent de si la instal·lació és connectada a xarxa o aïllada.

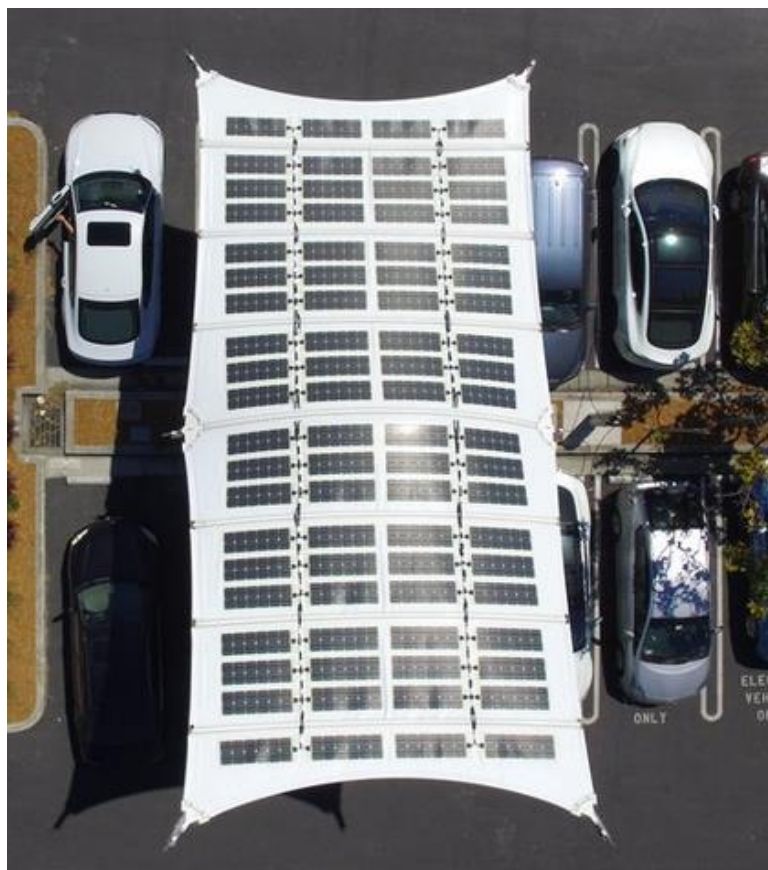


Figura 4.11. Tela fotovoltaica en un aparcament a Miami, Estats Units. (Font: Web Pvilion)



4. Cas pràctic: aplicació de teles fotovoltaïques

4.1. Objecte

L'activitat objecte d'aquest projecte es basa en la descripció, muntatge i anàlisi d'un sistema d'obtenció d'energia solar fotovoltaica amb generadors integrats en una tela. Aquesta instal·lació es farà en un establiment comercial en una zona de gran impacte solar i amb un elevat número de superfícies tèxtils esposades a la irradiació del sol, per tal de comprovar, posteriorment, si tal inversió seria rentable per al propietari del local.

El propietari del local vol canviar la tela dels seus tendals i d'una coberta que hi ha a darrere el restaurant, que es fa servir de terrassa, ja que estan desgastats per l'ús i la climatologia. Està interessat en adquirir una tela fotovoltaica per a cobrir aquestes zones si aquesta li dona una bona rendibilitat, alhora que manté l'estètica del local. Es posa en contacte amb un enginyer per a que li recomani quina tela escollir, quins mòduls i analitzi si la inversió li sortirà a compte.

4.2. Emplaçament

El lloc escollit per a realitzar l'estudi és el restaurant Mas dels Arcs, que es troba a la carretera C-31, al Km 328, entre els municipis de Palafrugell i Palamós, a la província de Girona.

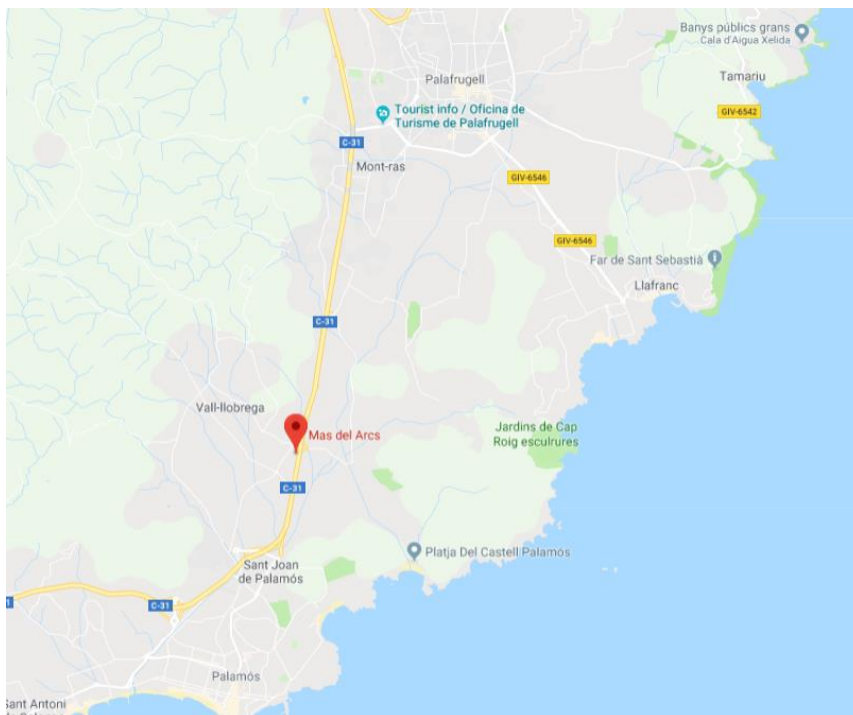


Figura 5.1. Localització del Mas dels Arcs (Font: Google Maps)

En termes de geogràfics, l'establiment es troba a una latitud de 41,875 N i a una longitud de 3,139 E. Per altra banda, l'altura sobre el nivell del mar és de 45 m.

La irradiació solar en la zona és la que es presenta a continuació:

Irradiación anual [kWh/m ²]	1 598.00											
Irradiación diaria media mensual [kWh/m ²]	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
	2.05	2.85	4.03	5.39	6.29	6.79	7.17	5.92	4.63	3.24	2.28	1.80

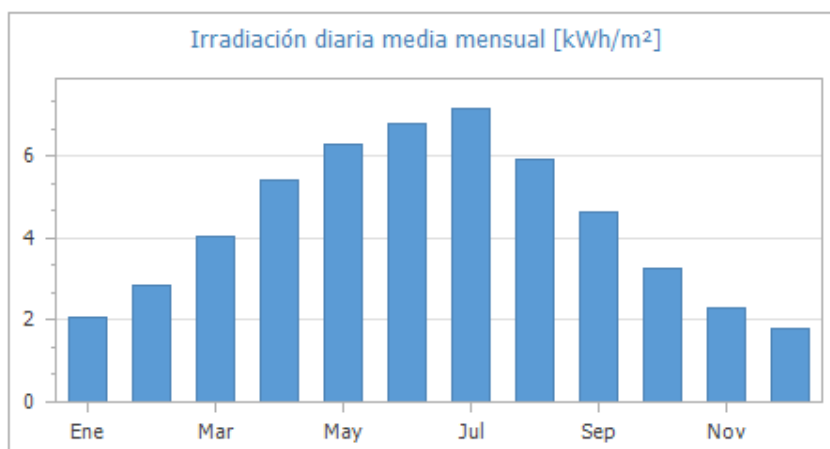


Figura 5.2 i 5.3. Irradiació anual i diària en aquest emplaçament (Font: Meteonorm)



4.3. Criteris per al dimensionament de la instal·lació

Abans de realitzar una instal·lació solar fotovoltaica és molt recomanable realitzar un minuciós estudi per tal de determinar el consum, el número de mòduls necessaris, l'espai que ocuparan, els elements complementaris que es necessitaran per tal de satisfer els diferents consums, etc. El bon dimensionament de la instal·lació és de vital importància no tan sols per a que aquesta funcioni correctament, sinó també per a que la seva vida útil sigui llarga. S'ha de triar cada element en funció de les seves prestacions, les seves característiques i la seva idoneïtat (funcional, econòmica, etc.) d'acord amb la instal·lació que es projecti.

Les condicions climàtiques d'una zona acostumen a ser força canviants, sobretot entre estacions, i el funcionament del mòdul variarà en funció d'aquestes. Per això, s'ha de procurar que sobre les teles incideixi la major irradiància possible, buscant la millor orientació, inclinació i muntant-les adequadament.

El local vol canviar les teles de les que disposa en orientació sud per una tela de generació fotovoltaica. El criteri pres per a dimensionar la instal·lació és el següent: màxima producció amb la superfície disponible conservant l'estètica i la seguretat de l'establiment.

4.4. Descripció de la instal·lació

Es proposa substituir totes les superfícies tèxtils per una tela de generació fotovoltaica de les característiques descrites en l'apartat 4.2.3., que es basa en l'adheriment de mòduls fotovoltaics sobre una lona resistent. A més a més, s'haurà de realitzar la instal·lació i muntatge d'altres components del sistema per tal d'aprofitar tant com es pugui la generació que es produeixi.

4.4.1. Estructura

Els mòduls fotovoltaics aniran integrats a una lona especialment preparada per a suportar-los. Aquesta lona anirà subjectada, al seu torn, a les estructures preexistents de les que ja disposa l'establiment. Es basen, en el cas de la coberta, en una estructura en forma de tenda d'alumini i, en el cas dels tendals, d'uns braços d'alumini de 2,12 m de llargada un cop estan desplegats.

En la figura 5.4 es poden apreciar totes les localitzacions on es disposa d'una estructura per fer de suport a les teles i que reben un impacte solar significatiu durant les hores de màxima irradiació.

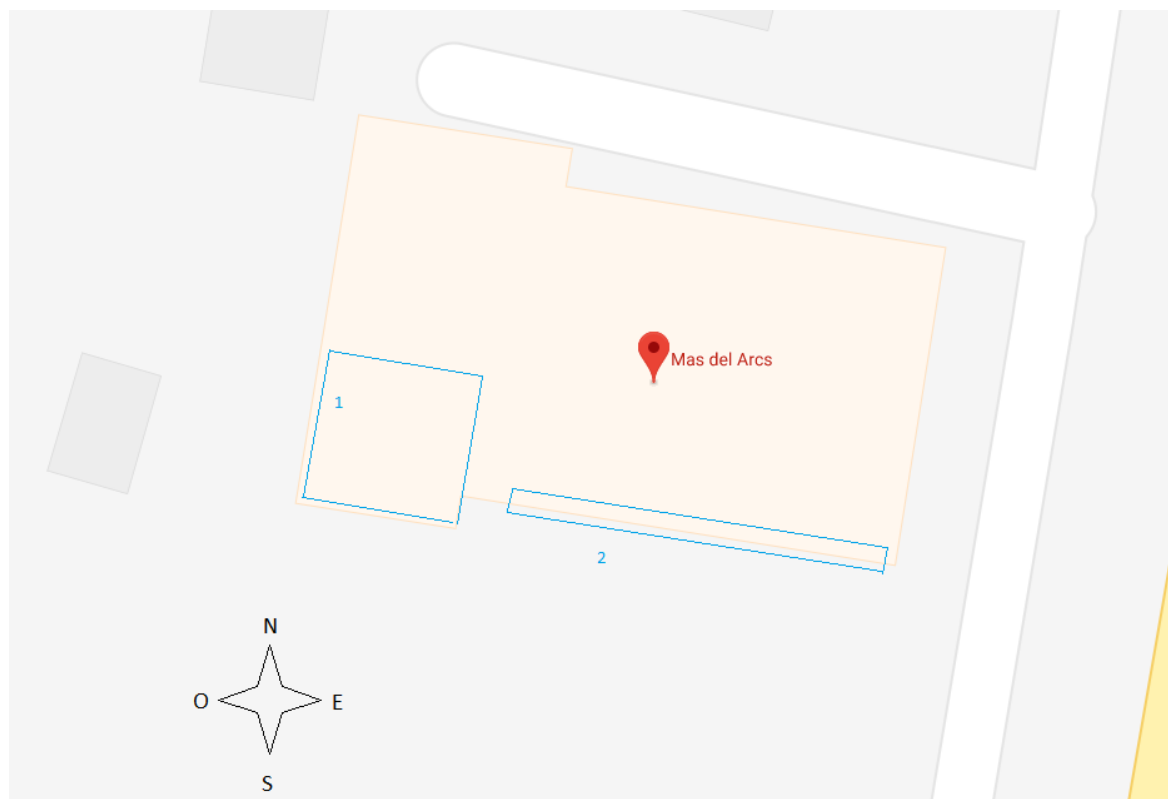


Figura 5.4. (En blau) Localitzacions potencials de teles fotovoltaïques (1 i 2)

Per tant, la quantitat de superfície de la que es disposa per tal d'instal·lar les teles és:

Superfície	Àrea total	Orientació
Coberta Sud (1)	4mx5,75m	SO, 193°, 13° respecte horitzontal
Tendals Sud (2)	2 de 5mx2m i 1 de 2mx2m	SO, 193°, 20° respecte horitzontal

Figura 5.5. Taula de superfícies disponibles (Font: Elaboració pròpia)



Així doncs, en total es disposa de 47 m² en direcció SO.

És molt important que la lona estigui fabricada d'un teixit resistent, impermeable i capaç de suportar el pes dels mòduls que s'instal·laran a sobre. S'escull el niló, un polímer artificial que es caracteritza per la seva elasticitat i resistència i la seva poca reacció davant agents atmosfèrics.

Els mòduls s'adheriran a la lona prèviament a la instal·lació. Es subjectaran de manera fixa a aquesta, i el cablejat es cobrirà amb parts de lona per tal d'obtenir un millor resultat estètic. El cable principal sortirà del tendal i anirà directament a l'inversor.

4.4.2. Mòduls fotovoltaics

Els mòduls fotovoltaics flexibles s'instal·laran a la lona escollida. Els mòduls triats són els *SunPower 100 W*, del fabricant xinès Xiapuguang. S'instal·laran en una disposició en sèrie. Les seves prestacions, dimensions i valors nominals es presenten a continuació:

Tipus de cèl·lula	Silici monocristal·lí
Número de cèl·lules	36
Potència nominal	100 W
Voltatge nominal	18 V
Corrent nominal	5,55 A
Voltatge en circuit obert	22 V
Corrent de curtcircuit	5,95 A
Dimensions del mòdul	1175x540x3mm
Pes del mòdul	2,2 kg
Eficiència	18,5 %
Garantia de funcionament	20 anys
Preu	108,98 €

Figura 5.6. Taula de prestacions del mòdul FV (Font: Elaboració pròpia)



Figura 5.7. Aspecte del mòdul SunPower 100 W (Font: AliExpress.com)

Es pot trobar el full d'especificacions tècniques a l'annex B.

Per tal de determinar el número màxim de mòduls que es poden instal·lar es tenen en compte 2 variables limitants: pes dels mòduls, en el cas dels tendals, i espai disponible. Per a calcular-ho, es té en compte l'índex de superfícies disponibles i la màxima distribució massica que es capaç de suportar la tela, que s'aproxima a 2 kg/m^2 , sempre en el cas que no hi hagi una estructura de suport directament a sota de la localització dels mòduls, com en el cas de la coberta. Allà es té en compte solament l'espai disponible.

Tenint en compte la superfície, l'àrea dels mòduls i el pes que poden suportar les teles de tendals i coberta, s'estableix que la instal·lació constarà de 43 mòduls fotovoltaics flexibles distribuïts tal i com s'indica a la següent figura



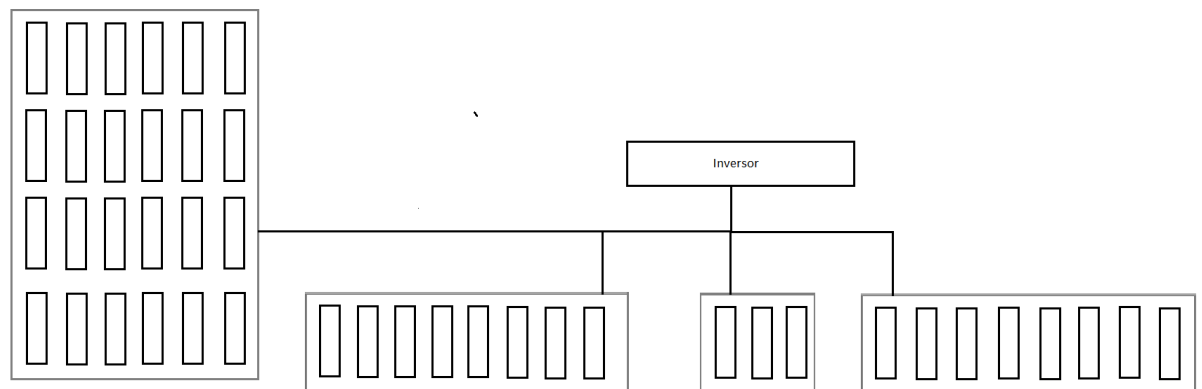


Figura 5.8. Distribució dels mòduls en les teles fotovoltaïques (Font: Elaboració pròpia)

4.4.3. Elements complementaris

En tenir diversos consums en CA, la instal·lació ha de disposar d'un inversor de CC a CA. Per tant, s'instal·larà un inversor trifàsic QUADRO 5000 W 24V MPPT, que és una bona opció qualitat preu alhora que respecta els límits del sistema. Es tracta d'un inversor d'ona sinusoïdal pura, amb una potència màxima de 5 kW. L'aparell incorpora el regulador de càrrega i l'inversor. Les característiques tècniques del mateix es poden trobar a l'annex C.

La instal·lació anirà connectada a la xarxa, per tant l'ús de bateries no serà necessari. Per altra banda, s'hauran d'instal·lar noves connexions i fer ús d'equips de seguretat. Aquests estaran detallats en el pressupost de la instal·lació.

4.5. Estudi de la producció de la instal·lació

L'establiment estudiat obre de 12:00 a 16:00, es troba al bell mig de la Costa Brava, una zona de gran impacte turístic, i, com la resta d'establiments del lloc, un consum elèctric molt diferenciat entre temporada alta (de maig a setembre) i temporada baixa (d'octubre a abril). Tot i així, s'estableix una sinergia entre la pujada del turisme i una major irradiació solar, cas típic de les zones costaneres. Aquest fet es té en compte a l'hora de calcular el consum. Es realitzen 3 comparatives per valorar l'autoconsum d'energia fotovoltaica: una pel mes de gener (mes amb menys clients de l'any), una per l'agost (mes amb més clients de l'any) i una per cada mes de l'any.

4.5.1. Consum

En tractar-se d'un restaurant de migdies, els seus consums són de dos tipus: per una banda tenim el consum de les màquines frigorífiques, que és constant les 24h del dia, tant a l'estiu com a l'hivern; per altra banda, tenim els consums pic, tals com forns d'inducció, cafeteres, bomba de calor/aire condicionat (depenent del mes de l'any), etc.

Totes les dades han estat facilitades pel propietari de l'establiment, es poden veure els consums detallats a l'annex C.

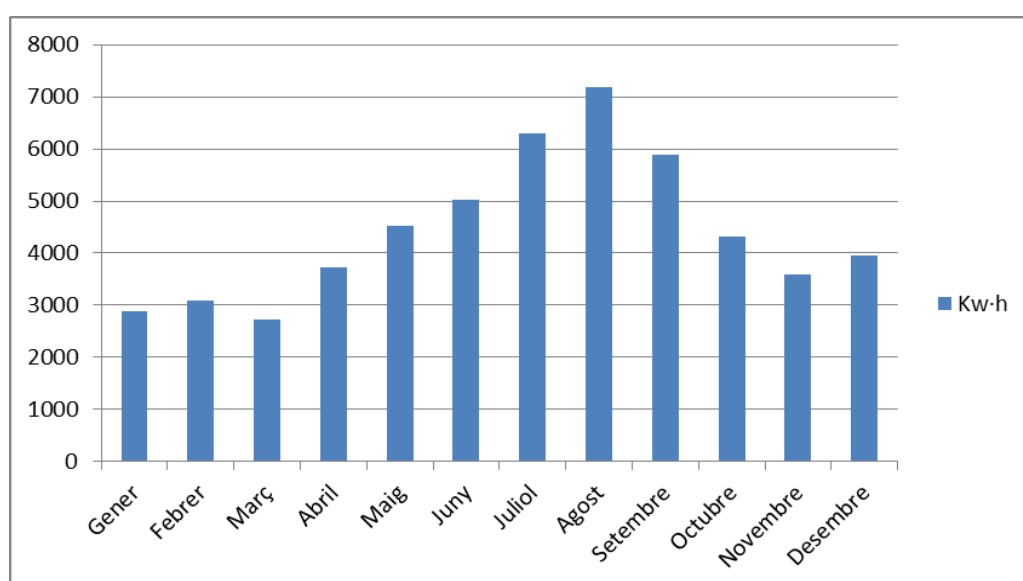


Figura 5.9. Consum mensual de l'any en kW·h (Font: Elaboració pròpia)

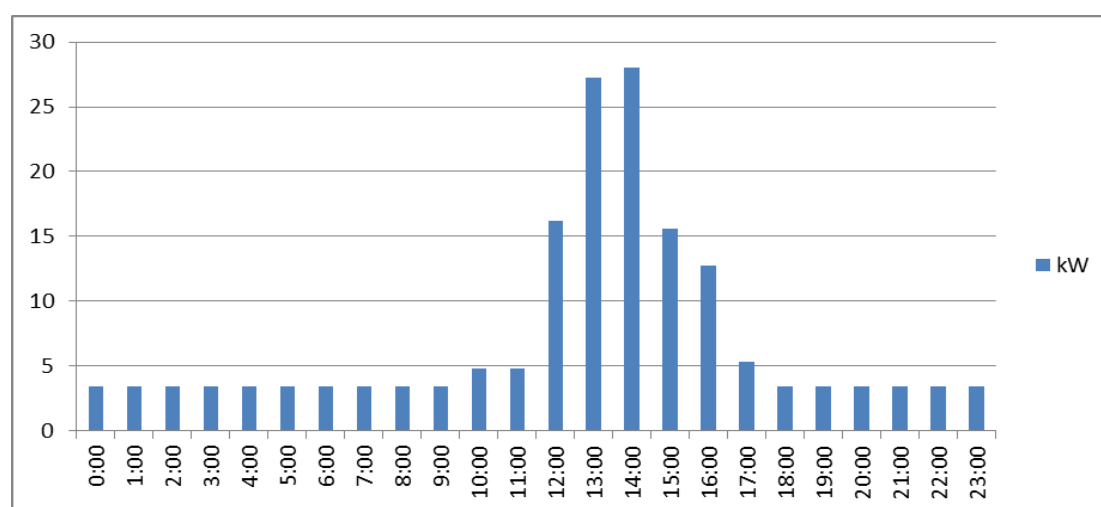


Figura 5.10. Consum diari mig el mes de gener en kW (Font: Elaboració pròpia)



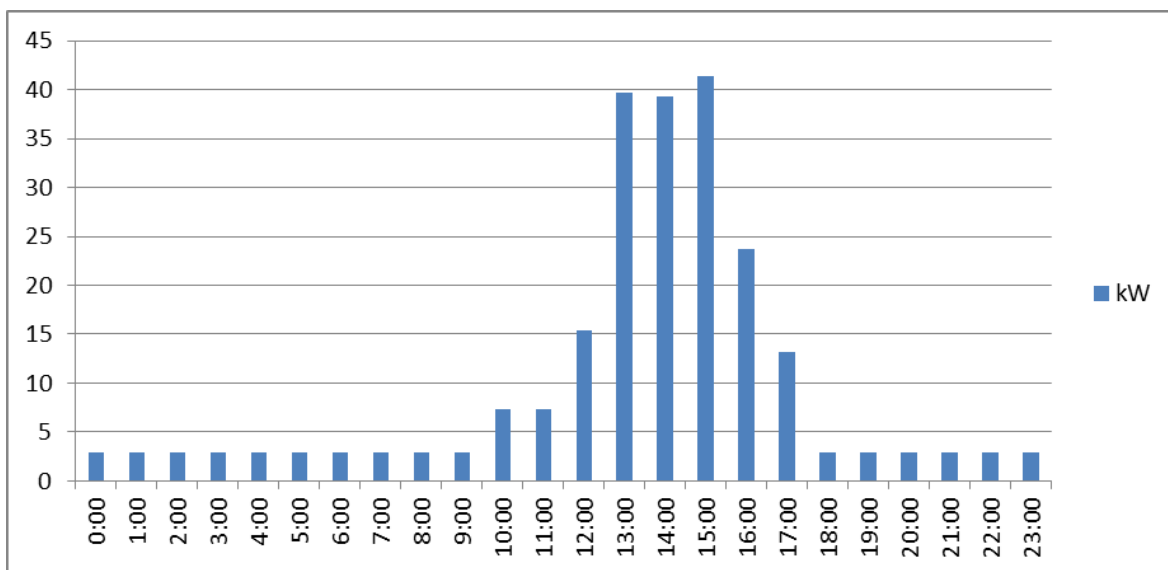


Figura 5.11. Consum diari mig el mes d'agost en kW (Font: Elaboració pròpia)

4.5.2. Producció

Per a fer l'avaluació de la producció de les teles fotovoltaïques s'utilitza el software Solarius PV, de l'empresa ACCA Software. Aquest programa realitza simulacions d'instal·lacions fotovoltaïques, mitjançant la radiació incident i els diferents components del sistema. A l'annex E es detalla el funcionament del programa.

Per tal de comprovar el rendiment de la instal·lació, es fa la simulació de la mateixa al programa, establint la zona on hi ha l'establiment, la superfície disponible per a mòduls, el número de mòduls, l'azimut i la inclinació respecte al terra. Posteriorment, s'introdueixen les dades referència dels mòduls i de l'inversor. A les figures 5.12 i 5.13 es presenten els resultats de la simulació, una dedicada a l'anàlisi diari i l'altre al mensual:

Hores	prod Gener	prod Agost
0:00	0	0
1:00	0	0
2:00	0	0
3:00	0	0
4:00	0	0
5:00	0	0
6:00	0	0

7:00	0	0
8:00	0	0
9:00	0	0,786
10:00	0,543	1,007
11:00	1,236	1,754
12:00	2,135	3,566
13:00	2,98	5,969
14:00	2,568	4,984
15:00	1,786	3,679
16:00	0,652	2,943
17:00	0	2,346
18:00	0	0,989
19:00	0	0
20:00	0	0
21:00	0	0
22:00	0	0
23:00	0	0

Figura 5.12. Resultats de la simulació de les produccions diàries al gener i l'agost en kW (Font: Solarius PV)

Mes	kW·h
Gener	342,2
Febrer	418,1
Març	592,0
Abril	791,7
Maig	923,4
Juny	997,1
Juliol	1053,9
Agost	869,2
Setembre	765,0
Octubre	476,2
Novembre	335,8
Desembre	264,4

5.13. Producció mensual de la instal·lació. (Font: Solarius PV)

S'ha aplicat un factor de correcció del 5% en els resultats (multiplicant cada valor per 0,95), per tal de tenir en compte les possibles pèrdues que es donarien com a resultat de caigudes de tensió o pèrdues en la transformació de l'energia.



4.5.3. Càlcul de l'autoconsum

La finalitat de fer un estudi de l'autoconsum fotovoltaic és donar a conèixer l'energia que s'autoconsumirà respecte a l'energia que produirà el sistema. Degut al gran consum elèctric de l'establiment enfront de la reduïda superfície on es disposarà de mòduls, probablement tota l'energia generada serà consumida instantàniament. L'objectiu doncs és reduir al mínim l'energia que s'abocarà a la xarxa, ja que es perdrà i no podrà ser retribuïda.

Els estudis de consum i producció en franges horàries d'un dia de temporada alta (agost) i un dia de temporada baixa (gener) es van realitzar amb l'objectiu d'obtenir la màxima precisió a l'hora de calcular l'autoconsum. Això és degut a la naturalesa de l'obtenció d'energia solar: la producció fotovoltaica és només en unes hores del dia, i per bé que en el cas present hi ha una forta sinèrgia entre les hores de màxim consum i màxima irradiació, estudiar només la producció mensual podria donar lloc a imprecisions en els càlculs.

Per cada hora dels dies de temporada alta i temporada baixa, es presenten els consums i la producció fotovoltaica per tal de veure l'autoconsum. Si el segon és més gran que el primer en algun moment, significarà que part de l'energia produïda serà diferida.

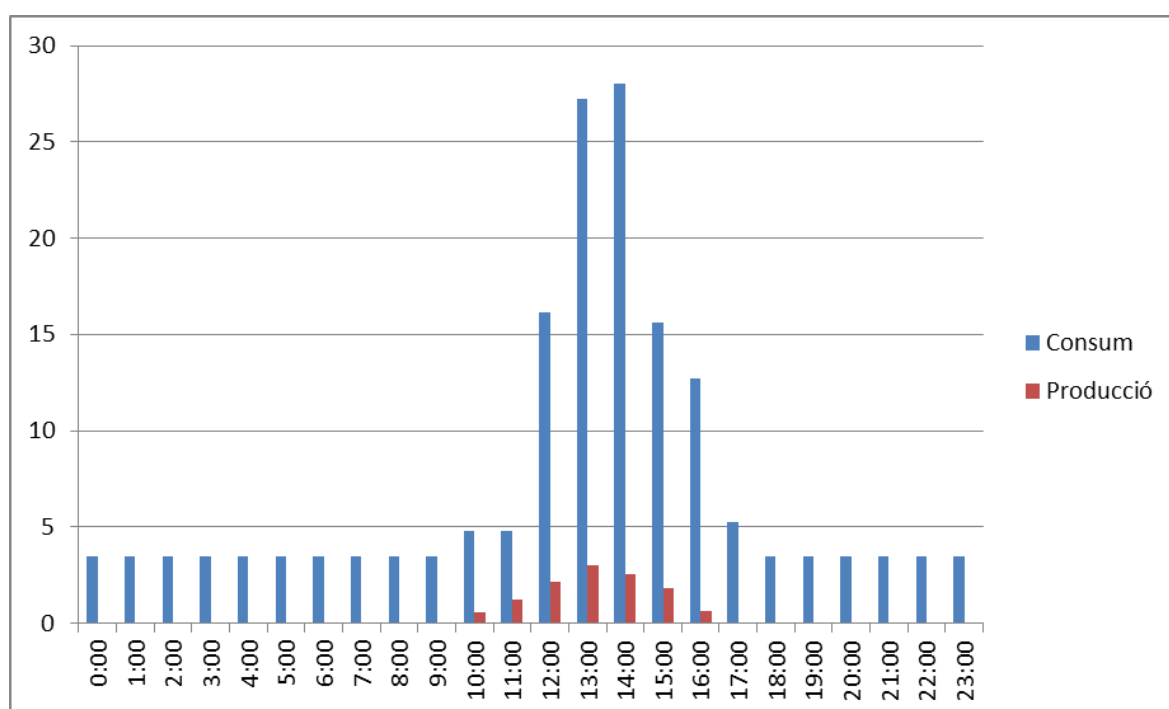


Figura 5.14. Comparativa entre consum i energia produïda (en kW) al mes de gener (Font: Elaboració pròpia)

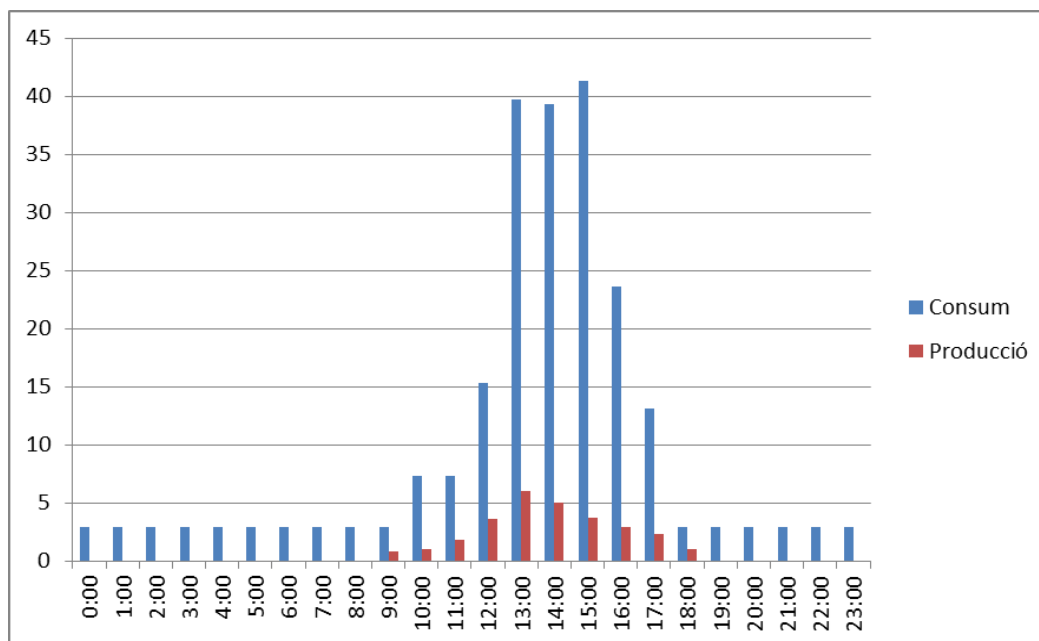


Figura 5.15. Comparativa entre consum i energia produïda (en kW) al mes d'agost (Font: Elaboració pròpia)

En els gràfics s'aprecia que no hi ha una quantitat significativa d'energia que sigui diferida, ja que la producció no supera en cap moment el consum del restaurant. Per últim, es passa a comparar aquests valors en tots els mesos de l'any:

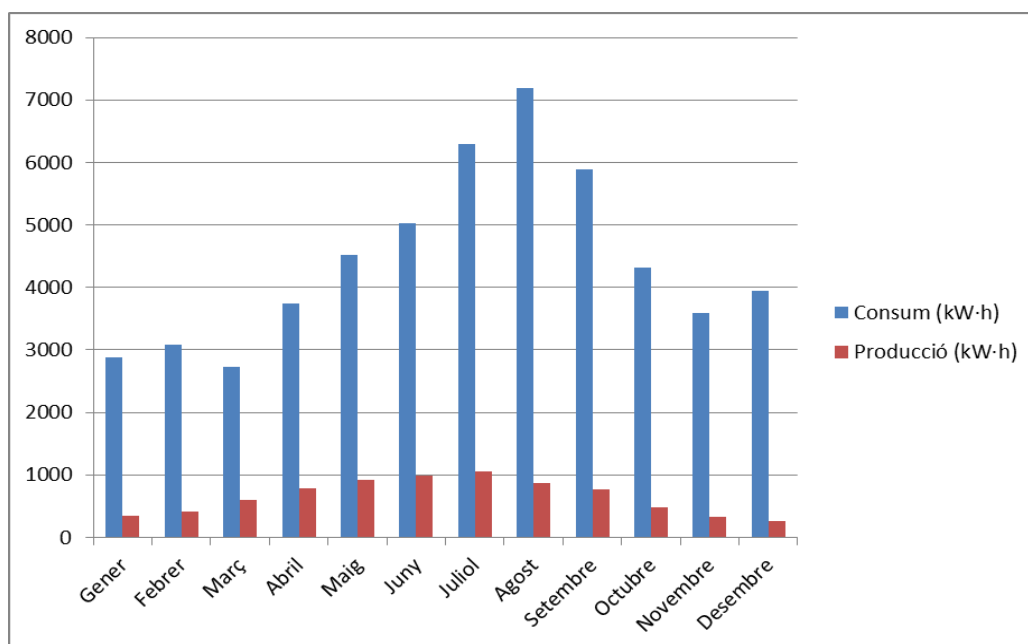


Figura 5.16. Comparativa entre producció FV i consum mensual (Font: Elaboració pròpia)



En definitiva, si el local no està tancat per vacances o algun altre motiu, tant a la temporada alta com a la baixa l'energia produïda serà completament consumida. Per tant, l'energia autoconsumida és pràcticament la mateixa que la produïda, i no hi ha energia diferida:

Energia consumida (kW·h/any)	53.203,2
Energia produïda per generació FV (kW·h/any)	7.829,0
Energia autoconsumida (kW·h/any)	7.829,0

Figura 5.17. Valors de consum, producció i autoconsum en un any (Font: Elaboració pròpia)

4.5.4. Estalvi generat

Un cop analitzat l'estudi de l'autoconsum, es vol realitzar el càlcul per saber quin serà l'estalvi real que donarà la instal·lació. És a dir, es calcularà l'estalvi econòmic mensual que hi haurà a l'establiment gràcies a la reducció de la despesa elèctrica.

L'establiment rep l'energia de la companyia Gas Natural Fenosa, amb un contracte de tarifa fixa anual. Aquest contracte es caracteritza per pagar el mateix preu per l'electricitat independentment de l'hora i mes en que es produeixi el consum. Aquest treball ha estat realitzat a principis de 2018, i la tarifa elèctrica actual amb aquesta companyia és de 0,146500 €/kW·h consumit. A més, l'impost elèctric es calcula com $1,05113 \times 4,864\%$ de l'energia consumida, o sigui un 5,114%. A partir d'aquestes dades es calcula el cost de l'energia elèctrica en euros, i es presenta l'estalvi generat (comptant amb l'impost elèctric). Per tal de trobar els valors en euros s'utilitza l'equació $\text{Preu} = \text{Energia} \times \text{Tarifa Elèctrica}$ i, posteriorment per a trobar l'estalvi tenint en compte l'impost, s'utilitza $\text{Estalvi} = \text{Producció (en €)} + \text{Producció (en €)} \times \text{Impost elèctric}$:

Mes	Consum (kW·h)	Producció (kW·h)	Consum xarxa (€)	Producció (€)	Estalvi complet (€)
Gener	2874,2	342,2	421,07	50,13	52,69
Febrer	3089	418,1	452,54	61,25	64,38
Març	2730,4	592	400,01	86,73	91,16
Abril	3735,6	791,7	547,27	115,98	121,91
Maig	4525,2	923,4	662,94	135,28	142,2

Juny	5029,9	997,1	736,88	146,07	153,54
Juliol	6289,3	1053,9	921,38	154,39	162,29
Agost	7184,1	869,2	1052,47	127,34	133,85
Setembre	5891	765	863,03	112,07	117,8
Octubre	4310,6	476,2	631,51	69,76	73,33
Novembre	3592,9	335,8	526,36	49,19	51,69
Desembre	3951	264,4	578,82	38,73	40,71
TOTAL	53203,2	7829	7794,27	1146,92	1205,55

Figura 5.18. Taula comparativa de consum i estalvi generat (Font: Elaboració pròpia)

Per tant, sense tenir en compte la instal·lació, l'estalvi anual serà de 1205,55 €. Es treballarà amb aquesta dada quan es faci l'estudi de viabilitat econòmica de la instal·lació.

4.6. Normativa

La instal·lació objecte no supera els 10 kW, per tant està regulada com a instal·lació de baixa tensió. A Catalunya, actualment, la normativa aplicada a instal·lacions fotovoltaiques de baixa tensió està gestionada per la Generalitat. Aquesta estableix quatre grans punts:

- Instrucció 5 /2006, que s'encarrega de totes les tramitacions que han de passar les instal·lacions fotovoltaiques que formen part d'un parc solar. No és el cas de la instal·lació objecte d'estudi en aquest treball.
- El codi tècnic d'edificació i zones climàtiques, que classifica les zones climàtiques segons la radiació solar mitjana a Espanya establertes en el RD 314/2006, de 17 de març, pel qual s'aprova el Codi Tècnic de la Edificació.
- El decret 352/2001, de 18 de setembre, sobre procediment administratiu aplicable a les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica connectades a la xarxa elèctrica. Divideix les instal·lacions entre les que són iguals o inferior als 5 kW i les que són superiors. La instal·lació objecte és inferior als 5 kW, per tant: es tracta d'instal·lacions senzilles i identificades mitjançant el butlletí d'instal·lació, a efectes d'acreditar l'acompliment del Reglament electrotècnic per a baixa tensió. Això representarà uns certs costos administratius presentats en el següent apartat.
- El plec de condicions tècniques IDAE, que regula les instal·lacions solars fotovoltaiques connectades a xarxa, establint els valors per abocar corrent.



4.7. Pressupost

El preu de la instal·lació solar fotovoltaica depèn del preu de diversos elements que participen en la instal·lació: els mòduls FV flexibles, la lona, l'inversor, petit material, la mà d'obra, l'enginyeria, etc. La variabilitat en el preu és força elevada, tenint en compte, a més, que estem parlant d'una nova tecnologia.

A part de la generació, s'instal·laran dos cablejats principals que uneixin les teles amb l'inversor i un altre que connecti l'inversor amb la presa elèctrica principal.

4.7.1. Costos instal·lació

A la figura x es detallen tots els elements que s'hauran d'adquirir per tal de poder realitzar la instal·lació. S'hi adjunta una breu descripció, alhora que el seu preu unitari i el preu total al que ascendirà cada cost tenint en compte totes les unitats que es compraran.

Element	Descripció	Cost unitari [€/ut.]	Cost [€]
Mòduls FV	43 Mòduls fotovoltaics flexibles model <i>SunPower 100</i> .	108,98	4686,14
Lones de niló de 5 mm de gruix	4,5x6m, coberta	265,31	265,31
	2x3m, tendal petit	58,88	58,88
	5x2,5m, tendals grans, dues	122,69	245,37
Inversor	Inversor QUADRO 5000 W, amb proteccions CA incorporades	869,92	869,92
Cablejat CC	350 m de cable, de mòduls en sèrie fins	378,76	378,76

	a inversor		
Cablejat CA	10 m de cable, de l'inversor al punt de connexió	29,99	29,99
Elements de subjecció	Inclou tot tipus de fixacions de mòduls a tela i de tela a estructura	135,00	135,00
Enginyeria i direcció d'obra	Inclou estudi d'autoconsum, projecte i direcció d'obra	235,00	235,00
TOTAL	6904,37		

Figura 5.19. Pressupost de la instal·lació, sense tenir en compte l'IVA (Font: Elaboració pròpia)

4.7.2. Costos associats

Mà d'obra

A continuació es detallen els costos associats a les hores de feina per a la instal·lació en el moment del seu muntatge. La quantitat total d'hores de feina es desglossa en:

Muntatge mòduls sobre tela	10 h
Substitució de teles	4,5 h
Muntatge elements complementaris	8 h
Transport materials	3 h
TOTAL	25,5 h

Figura 5.20. Taula de costos associats al muntatge del sistema (Font: Elaboració pròpia)



Si la mà d'obra directa té un cost de 20 €/h, el preu d'aquesta ascendeix fins als 510 €.

Costos inicials

També s'han de tenir en compte els costos inicials que haurà de costejar el client de la instal·lació FV. Alguns d'aquests són previs a les obres i d'altres són posteriors a la instal·lació, associats a la seva legalització. Tots aquests són taxes i impostos relacionats amb tràmits administratius. Es podrien desglossar en:

Llicència d'obres	350 €
Sol·licitud de certificats companyia distribuïdora	220 €
Taxa RIPRE i APM	120 €
TOTAL	690 €

Figura 5.21. Costos inicials que haurà de sufragar el client (Font: Elaboració pròpia)

Costos anuals

Per al correcte desenvolupament i manteniment de la instal·lació fotovoltaica és aconsellable contractar una assegurança anual que protegeixi la instal·lació de desperfectes ocasionats per agents externs (principalment agents meteorològics) i furt, així com també realitzar un manteniment anual dels equips de la instal·lació.

El manteniment que hauran de rebre les teles és en principi mínim degut a la simplicitat del sistema. Tot i així, és recomanable fer una revisió extensa cada any que permeti detectar possibles avaries amb anticipació. Aquesta actuació contempla tant la inspecció de l'estat físic de la instal·lació (ancoratge dels mòduls a la tela, estat de les teles i els suports, connexions elèctriques ben ajustades, etc.) com el comportament elèctric de la mateixa.

Aquests costos es subdividiran per tant en:

Assegurança	60 €
Manteniment	130 €
TOTAL	190 €

Figura 5.22. Costos anuals de la instal·lació (Font: Elaboració pròpia)

4.8. Estudi econòmic

Un cop analitzades les dades de consum, producció i d'haver calculat l'autoconsum i l'estalvi generat per les teles FV, és important determinar la viabilitat de realitzar aquesta inversió pel client.

Per tal de determinar la rendibilitat de la inversió s'empren 3 indicadors econòmics, el VAN, el TIR i el Payback. L'estudi es realitzarà a un temps vista de 20 anys, temps que ve donat per la garantia dels mòduls adquirits i representa la vida útil de la instal·lació.

És a dir, es tracta d'una inversió a llarg termini. S'analitza el seu VAN i la seva rendibilitat en aquests 20 anys. Primerament, es té en compte el preu del kW·h actualment amb la companyia subministradora, que era de 0,146500 €/kW·h. El preu de la tarifa elèctrica augmenta cada any, amb el que es forma el supòsit d'un creixement d'un 5%. Aquesta suposició es força conservadora, ja que si s'analitza el creixement en els últims anys, l'increment del preu en l'electricitat ha sigut superior en el període 2009-2015 [x] (font: IDAE. ES). Com més pugui el preu de l'electricitat, més rentable serà la instal·lació.

Un segon aspecte a considerar és l'increment en l'IPC (Índex de Preus al Consum), que es fixa a 2,5% per any. Segonament, s'estableix que la caiguda de rendiment en els mòduls serà d'un 5 % un cop es compleixin els 20 anys.

Amb aquestes hipòtesis es calcula el *Cash Flow* de la inversió a 20 anys. Aquest càlcul permet determinar el flux de fons anual i el flux de fons acumulat. No obstant, prèviament cal calcular els pagaments i l'estalvi.

Pagaments

1. Cost de la instal·lació: detallat anteriorment i aplicat al moment de fer la inversió (any 0).
2. Impost sobre el Valor Afegit (IVA) de la instal·lació: correspon al 21% del cost de la instal·lació i aplica al moment de fer la inversió (any 0).
3. Desemborsaments inicials: calculats anteriorment i només s'apliquen en el moment de fer la inversió (any 0).
4. Desemborsaments anuals. Calculats anteriorment i aplicats cada any a partir del primer any.

Estalvi



1. Recuperació de l'IVA: en tractar-se d'un establiment amb entitat jurídica, es considera que l'IVA pagat per la instal·lació és IVA suportat, és a dir, que es podrà recobrar en fer la liquidació de l'IVA en el moment de fer la inversió (any 0).
2. Estalvi de l'energia consumida: aquest estalvi s'aplicarà cada any a partir del primer. El valor de l'estalvi del primer any es pot veure a l'apartat 5.5.4. Donada la pèrdua de rendiment dels mòduls i l'increment de la tarifa elèctrica anual, aquest valor d'estalvi canviarà a cada any. Per tal de calcular el valor real que adquirirà, s'utilitza la següent equació:

$$E_{t+1} = E_t * (1 + IT) * (1 - (P/20))$$

On:

E_t : Estalvi en el període t

E_{t+1} : Estalvi en el període t+1

IT: Increment anual de la tarifa (=5%)

P: Pèrdua de rendiment en els mòduls (=5%)

Flux de fons anual i acumulat: El flux de fons, o *Cash Flow*, es calcula com:

$$F = Total\ estalvi - Total\ pagaments$$

El flux de fons acumulat o flux de caixa acumulat (FA) es calcula mitjançant la següent expressió:

$$FA_{t+1} = FA_t + F_{t+1}$$

On:

FA_{t+1} : Flux de fons acumulat període t+1

FA_t : Flux de fons acumulat període t

F_{t+1} : Flux de fons de període t+1

Així doncs, el Cash Flow a 20 anys és el següent:

ANY	0	1	2	3	4	5
Cost de la instal·lació	6904,37					
IVA instal·lació	1449,92					
Costos inicials associats	1200					
Costos anuals		190	194,75	199,62	204,6	209,72
TOTAL PAGAMENTS	9554,29					
Recuperació IVA	1449,92					
Estalvi d'energia		1205,55	1262,66	1322,48	1385,13	1450,75
TOTAL ESTALVI	1449,92					
FLUX DE FONS ANUAL	-8104,37	1015,55	1067,91	1122,86	1180,53	1241,03
FLUX DE FONS ACUMULAT	-8104,37	-7088,82	-6020,91	-4898,05	-3717,52	-2476,49

6	7	8	9	10		19	20
214,97	220,34	225,85	231,49	237,28		296,34	303,74
1519,48	1591,47	1666,87	1745,83	1828,54		2773,48	2904,87
1304,51	1371,13	1441,02	1514,34	1591,26		2477,14	2601,13
-1171,98	199,15	1640,17	3154,51	4745,77		23215,46	25816,59

Figura 5.23. Cash Flow a 20 anys (Font: Elaboració pròpia)

Càlcul dels paràmetres de rendibilitat

Els paràmetres que es calculen són el VAN, el TIR i el *Payback*. Aquests es determinen de la següent forma:

- VAN

El VAN, Valor Actualitzat net, permetrà calcular el valor actual del flux de caixa total originat per la inversió. Per tant, amb el VAN es calcularà quin és l'estalvi total que generarà la inversió actualitzant aquest capital a dia d'avui, a partir d'un tipus d'interès determinat. L'objectiu del càlcul és comparar el valor del VAN (fluxos d'efectiu que genera la inversió equivalents a dia d'avui) amb la inversió inicial.



Es calcula mitjançant l'expressió següent:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

On:

F_t : Flux de fons al període t

I_0 : Inversió inicial

n : Nombre de períodes

k : Tipus d'interès

Per tant, per a calcular el VAN, es calcularà primerament el flux de fons acumulat actualitzat de cada any i finalment es realitzarà el sumatori. Així doncs, aquest rati sorgeix de sumar els fluxos de fons que tenen lloc durant l'horitzó de la inversió incloent el desemborsament inicial actualitzats segons una taxa d'interès determinada.

Es té en compte que:

F_t : Flux de fons al període $t \rightarrow$ Flux de fons anual del *Cash Flow*

I_0 : Inversió inicial = 9554,29 €

N : Nombre de períodes = 20

K : Tipus d'interès = 2,5% (valor de l'IPC)

Així doncs, calculant els fluxos actualitzats, fent el sumatori i restant la inversió inicial, el VAN queda com:

VAN	15.833,00 €
------------	-------------

Figura 5.24. Valor del VAN a 20 anys vista (Font: Elaboració pròpia)

- TIR

La TIR, o Taxa Interna de Retorn, és un mètode de valoració d'inversions que mesura, en percentatge, la rendibilitat dels cobraments i pagaments actualitzats. És a dir, avalua la rendibilitat del projecte i, per tant, proporciona la taxa de rendibilitat de la inversió efectuada. La TIR és la taxa que iguala el VAN a zero, és a dir, a partir de la qual la inversió comença a ser rentable.

Per tant, per trobar la TIR s'aplica la següent expressió:

$$VAN = 0 \rightarrow k = TIR$$

Tot i així, el full de càlcul EXCEL incorpora la funció TIR i es calcula a partir del flux de fons anual. Per a calcular-ho es fa de la següent forma:

(a EXCEL) $\rightarrow TIR (F_0:F_{20})$

El resultat és:

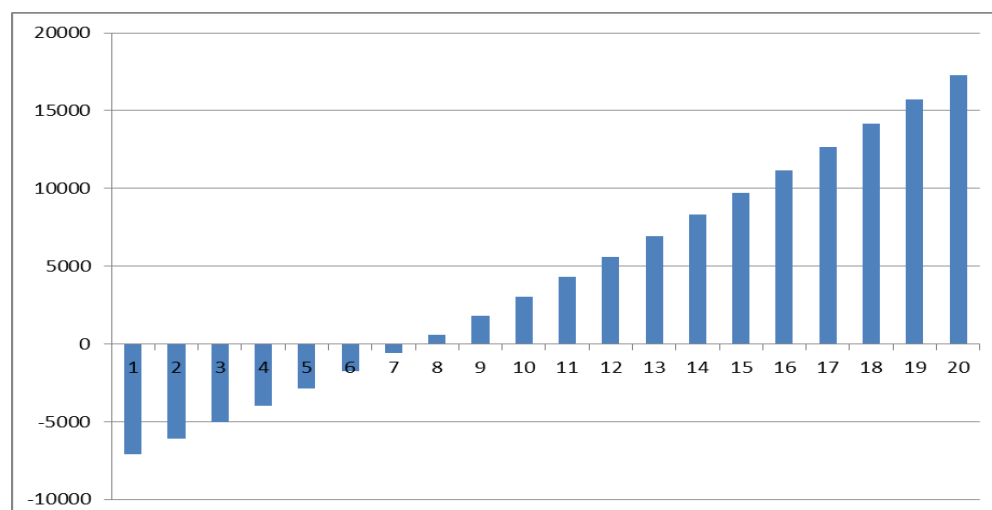
TIR	13,01 %
------------	---------

Figura 5.25. Valor del TIR (Font: Elaboració pròpia)

- Payback

El *Payback* correspon al període de recuperació de la inversió, és a dir, es calcula per determinar el temps que es trigarà en recuperar-la. S'ha d'anar amb cura amb aquest indicador, ja que per si mateix no et dóna una idea de la rendibilitat del projecte, senzillament determina si un projecte té un termini més extens o menys per a recuperar la inversió inicial. A continuació s'adjunta un gràfic dels fluxos de caixa acumulats actualitzats, on el *Payback* és igual al moment on el comptador torna a quedar a 0.





5.26. Flux actualitzat acumulat i Payback (Font: Elaboració pròpia)

Per tant, la inversió trigaria entre 7 i 8 anys a retornar-se.

5. Impacte de la tecnologia

5.1. Econòmic

Com s'ha pogut veure en l'últim capítol, la inversió en una tela fotovoltaica sortiria rentable per a un establiment que gaudeixi d'un bon impacte solar. Aquest fet és d'especial rellevància per a introduir la tecnologia. Per bé que la ciència fa avançar les societats, també són les societats les que fan avançar la ciència, i si alguna cosa no és rentable, és més que probable que la societat no estigui disposada a arriscar-s'hi.

És per aquest motiu que és tant important realitzar un estudi previ abans d'introduir una tecnologia, per tal d'observar el recorregut que podria tenir. El desconeixement d'aquesta pot generar desconfiança per part dels potencials compradors de la mateixa, i estudis com el realitzat en aquest projecte intenten aportar llum sobre la tecnologia per a fer-la més atractiva i reduir el temps en que es podria aplicar. A més a més, un major número d'inversors probablement equivaldria a trobar noves i millors solucions, que podrien millorar l'aspecte de les teles i incrementar el seu rendiment, fins al punt de transformar-les en un element únic o complementari a instal·lacions solars ja existents, amb una producció d'energia gens menyspreable.

Per altra banda, seguir incentivant iniciatives renovables té un impacte positiu sobre l'economia, ja que es creen nous llocs de treball, ja sigui amb instal·ladors, fabricants, dissenyadors, projectistes, etc., que per altra banda redueixen la nostra dependència de les fonts d'energia convencionals i per tant la despesa elèctrica consumida.

5.2. Ambiental

Ja s'ha explicat extensament l'impacte ambiental de les energies renovables i la importància de la investigació en aquest camp, tot i que un cop finalitzat l'estudi es pot comprovar que, efectivament, la instal·lació de les teles fotovoltaïques ha fet decreixer la despesa elèctrica del seu consumidor de manera notable, a més de representar una bona inversió a llarg termini.

Si es té en compte que, a Espanya, el kW·h implica, de mitja, l'emissió d'aproximadament



250 g de diòxid de carboni a l'atmosfera, la instal·lació ha ajudat a reduir cada any unes 2 tones de CO₂. Tot i que la creació dels mòduls implica un cert nivell de contaminació, el fet de ser tant prims (3 mm) implica una quantitat molt més reduïda de silici per tal de crear els cristalls, i els beneficis que aporta durant la seva vida útil sobrepassen la inversió i contaminació inicial.

Només cal imaginar quina seria la situació si s'expandís l'ús d'aquestes tecnologies, es motivés la instal·lació de generadors FV i s'establissin unes normatives clares i amables per a que qualsevol consumidor es pogués plantejar l'adquisició de qualsevol forma d'obtenció d'energia solar tant a les vivendes com a les empreses i indústries. La reducció d'emissions es faria més que notable.

5.3. Social

Fins fa uns anys, una de les vessants més controversial de les energies renovables era sense dubte l'impacte visual que generen: els molins eòlics es veuen a molta distància, l'energia solar necessita d'extensions grans de terreny per tal d'arribar a cotes de producció altes, les preses hidràuliques representen accidents hidrogràfics notables, etc. Tot i així, la societat en els últims anys s'ha conscienciat de la necessitat d'expandir el camp de l'obtenció d'energia per medis renovables, i cada cop es mostra més favorable a la introducció de nous elements i sistemes d'aquesta naturalesa.

Últimament, a més a més, estan agafant cada cop més protagonisme totes les iniciatives *eco-friendly*, fins al punt que grans empreses ja prioritzen presentar els seus productes com a obtinguts amb energia 'neta' o a partir de materials reciclats.

Per exemple, l'establiment on s'instal·larien les teles fotovoltaïques podria arribar a obtenir més clients només pel fet de tenir a la vista aquests generadors i presentar-se com a respectuós i conscienciat amb el medi ambient. Aquesta tendència és molt positiva pel que fa al camp de les renovables, i cal seguir incentivant l'ús i creació de nous llocs d'aplicació mitjançant iniciatives tant públiques com privades.

Conclusions

En el transcurs del projecte s'han realitzat tres passos. Primerament s'ha analitzat l'estat de la tecnologia presentada per tal de comprendre el seu funcionament, per posteriorment dissenyar un producte basat en aquesta però personalitzat per al client, i per últim s'ha comprovat que, efectivament, realitzar una inversió d'aquestes característiques només aporta beneficis a l'usuari.

Encara que una inversió d'aquest calibre ja podria ser interessant des del punt de vista econòmic, encara queda camí per recórrer en el camp de l'obtenció de l'energia fotovoltaica a través de teixits. L'aspecte i el rendiment que donen podria millorar-se, i fan falta més investigacions, incentius i propostes polítiques per tal d'arribar a crear un producte que pogués ser comercialitzat a gran escala.

Tot i així, es nota una tendència molt positiva de la societat cap a les noves fonts renovables, que veuen amb bons ulls les iniciatives en aquest camp, o per polítiques com la impulsada per la Generalitat de Catalunya últimament, anomenada SolarCat, que es planteja tenir el 50% de producció elèctrica com a renovable el 2030, o les directives de la Unió Europea, cada cop més estrictes pel que fa a la generació d'energia convencional. Això dóna esperança a projectes com el presentat en aquest treball.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA. Energia Solar Fotovoltaica. Col·lecció Quadern Pràctic Número 4. Biblioteca de Catalunya. 2014.
 - [2] WEB DE SOLENER, [<http://www.solener.com/pregunta>, 20 de gener de 2018]
 - [3] M. ALONSO ABELLA, *Sistemas fotovoltaicos. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica*.
 - [4] L. CASTAÑER MUÑOZ, *Energía solar fotovoltaica*.
 - [5] PERPIÑAN O., CASTRO M., COLMENAR A., *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. Sevilla, PROGENSA, 2012.
 - [6] WEB ADIF, Apartat de Normativa Tècnica [<http://www.adif.es>, 18 de febrer de 2018]
- PROJECTES (consultats entre 20 de gener de 2018 i 15 de febrer de 2018)
- [7] SOLAR FIBER [<http://www.solarfiber.nl/about-solar-fiber/>]
 - [8] WEARABLE SOLAR [<http://www.paulinevandongen.nl/project/wearable-solar/>]
 - [9] RENOVAGEN [<http://www.renovagen.com>]
 - [10] IFTF [<http://www.celdassolaresflexibles.com/PowerFilm-Solar-Rollable-Solar-Panels.php>]
 - [11] FILAMENTS FLEXIBLES [<http://www.core77.com/posts/19379/SMIT-Tensile-Solar-lightweight-modular-solar-power>]
 - [12] SMIT [<https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica-alumbra-la-que-esta-lamada-a-20161116-1>]
 - [13] PVILION [<http://www.pvilion.com/index#/new-gallery/>]

Bibliografia complementària

- [14] J M^a. DE JUANA SARDÓN, *Energías renovables para el desarrollo*.
- [15] BREALEY, MYERS Y ALLEN (2006), Principios de Finanzas Corporativas, 8^a Edición, Editorial Mc Graw Hill
- [16] TARIFES ELÈCTRIQUES [<http://www.gasnaturalfenosa.es>, 25 de març de 2018]
- [17] FABRICACIÓ DE PANELLS FV [<https://ca.solar-energia.net/tag/cel-lules>, 4 abril de 2018]
- [18] OFICINA CATALANA DEL CANVI CLIMÀTIC. *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Comisión Interdepartamental del cambio climático. Versió del març de 2014.

